

## 家畜生産におけるLCA

|       |               |
|-------|---------------|
| 誌名    | 農林水産技術研究ジャーナル |
| ISSN  | 03879240      |
| 著者    | 林, 孝          |
| 巻/号   | 22巻10号        |
| 掲載ページ | p. 26-32      |
| 発行年月  | 1999年10月      |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 家畜生産におけるLCA —肉牛生産を中心にした問題の整理—

林 孝  
農林水産省 畜産試験場

肉牛生産を中心に家畜生産におけるLCAを検討した。まず自動車生産と肉牛生産をLCAの視点から対比させ、それぞれ生産工程のライフサイクルステージの位置を比較し、素牛生産、飼料栽培等を素材製造として位置づけた。次に輸入飼料の生産および輸送に要するエネルギー量を推定したところ、海上輸送に膨大なエネルギーが投入されていることが明らかとなった。肉牛繁殖システムにおいては母牛を生産財とし、子牛のみを生産物として評価することにより、システム境界の問題を単純化することができた。肉牛繁殖システムの子牛1頭あたりの資源消費量および排出量は予想に反し、肉牛肥育よりも大きかった。濃厚飼料の生産および輸送は肉牛生産システムの外に置き、飼料生産等に要するエネルギーは参考値を示した。肉牛生産に投入されたエネルギーより濃厚飼料の生産および輸送に要するエネルギーが過大であった。

### 1. はじめに

家畜生産におけるLCAに関する検討を進めるにあたって、構成および物質フローが大きく異なる2つの産業、すなわち工業と畜産業の比較を行うことにより、問題がより明確になると考えられたことから、まず両産業の生産過程の簡単な比較検討を行うこととした。

### 2. LCAにおける自動車と肉牛の比較

日本自動車工業会(1999)の「自動車におけるLCA研究のケーススタディ」によれば、自動車へのLCA適用を研究するために、日本の平均的な乗用車のエネルギー消費と炭酸ガス排出の評価を検討した。対象モデルを2000ccクラスの乗用車とし、重量、燃費等を具体的に定め、平均的なモデル車を策定した。

このモデル車の生産から、利用および廃棄に

至るまでの資源消費と環境負荷を1993年の実績に基づき、積み上げ方式で評価した。ライフサイクルステージとして、原料採掘・素材製造、部品製造、自動車製造、走行・維持管理、リサイクル・廃棄の5ステージを想定し、ステージ間の輸送もLCAの範囲に含めた。原料採掘・素材製造ステージにおいては、鋼板、アルミ地金等の製造に要したエネルギー消費と炭酸ガス排出量をLCAソフト「NIRE-LCA」を利用し、評価した。その結果、ステージごとの内訳は、エネルギー消費に関して、走行が全体の84%となり、炭酸ガス排出でも走行が86%となった。このように走行ステージが全体の80%以上を占めることが明らかとなったとしている。

自動車生産のLCAにおいては、産業を代表するモデル車を策定し、ライフサイクルステージを素材生産から廃棄まで5段階設けた。インベントリ分析においては、自動車生産の範囲を示す「システム境界」が実に明快であり、母牛のように生産財と生産物が重複するようなことが

ない。自動車に限らず他の工業製品についてもシステム境界の線引きが容易であり、素材製造、部品製造、製品製造、利用、廃棄のライフサイクルステージの考え方はそのまま適用できると考えられる。

一方、肉牛生産を含む家畜生産のLCAに関する研究を推進する場合に、問題は明快に整理されるであろうか。日本国内における肉牛生産の最終産物は主に牛肉である。開発途上国等においては、乳肉兼用利用が重要であり、無視できないが、ここでは問題を牛肉についてのみ考えることにした。また、牛肉等のリサイクルおよび中途廃棄は発生しないとした。

肉牛肥育部門においては、一般に育成牛を購入あるいは自家育成し、肥育を進めるが、この肥育部門が自動車LCAのなかの自動車製造のステージに相当するのであろう。育成牛は部品というよりも素材であり、牛に給与する粗飼料および濃厚飼料も素材として整理することができよう。素材としての育成牛と粗飼料・濃厚飼料の生産は、素材生産のステージでそれぞれ別途評価しなければならない。

以上に整理したように、自動車は工業的に生産され、走行することにより長期間その効用が發揮される。一方の肉牛は生まれてから2年以上の年月をかけて育てられ、最後に牛肉が賞味されることにより効用が評価され、直後に消滅する。このように、両者の生産過程および利用形態には大きな違いがある。

### 3. 肉牛生産システム

日本国内の消費者の評価に耐える牛肉を生産するためには、肉牛を肥育しなければならない。これには素牛（もとうし）と呼ばれる、おおよそ270kgの去勢された育成牛が必要となる。肥育農家はこの育成牛を購入するか、あるいは経営内で生産している。ここで肉牛生産システムを、肥育と繁殖に分割することができる。現実には、同一経営内に肉牛の繁殖と肥育

をもつ繁殖肥育一貫経営が多数存在するが、それらをシステムとして評価するならば、繁殖部門と肥育部門に分割することは可能である。

育成牛を生産する繁殖部門においては、いくつかの基本的な課題を整理する必要がある。課題のうちの1つは牛が哺乳類であることから発生する問題である。牛は親子間で有機物の受け渡しがある。つまり、ある子牛は生まれた時点で母牛から多くの有機物を受け継いでいる。子牛から見た場合の母牛の生産財としての評価、さらに最終的には生産物としての評価を行うことは容易ではない。

あえて、問題を単純化するならば、繁殖部門の生産物は育成牛だけであり、母牛は自動車生産における旋盤のような生産財として、評価することができる。旋盤は一定期間経過後に廃棄されスクラップとなり、母牛も数年間利用された後に廃用となり、加工用牛肉として利用される。このように考えることにより、一部問題を残すが肉牛生産を生産財、原材料、製品に整理することが可能になる。

現実のシステムでは、母牛の寿命と生産する子牛の数は確率的に決まると考えられ、生産される子牛の頭数により母牛のLCA評価が異なる。たとえば、ある母牛が一生のうちに3頭の子牛を生産したならば、母牛の生涯の環境負荷の合計は3頭により分担されるべきであろう。さらに多くの子牛を生産するならば、それに伴って母牛の寿命が伸びることになるが、子牛1頭が負担する母牛の環境負荷は軽いものになる。

なお、牛に関するいくつかの用語について、出生後おおよそ6か月を子牛、18か月までを雌雄にかかわらず育成牛、18か月を超える雌牛を成雌牛とした。また母子の対応が必要な場合には母牛と表した。肥育牛は肥育の飼養管理が行われている去勢牛を示すものとし、月齢は9～27か月とした。

#### 4. 自給飼料と輸入飼料

一般に、肉牛繁殖農家は自給飼料を栽培するための圃場をもつことが多いが、肥育農家の多くは自給飼料のための圃場をもたない。イナワラは近隣農家より譲渡されることが多く、敷料のオガクズも地域内で調達される。摂取エネルギーの過半を占める飼料用穀物は国内ではほとんど生産されていないことから、大部分を海外から輸入することとなる。ここで、飼料に関する問題整理を進めるうえで、日本特有の問題がある。現在、トウモロコシ等の飼料用穀物に代表される大量の有機物が輸入されている。これらの穀物のわが国における自給率はほとんどゼロに近く、その多くを米国、アジア諸国からの輸入に依存している。

米国等の農業先進国におけるトウモロコシの栽培は大規模圃場に大型機械を導入し、化石エネルギーを投入することから、これらのすべてをトウモロコシは負担しなければならない。さらにこれらの飼料等の輸送に関わるエネルギーも無視できない量となる。たとえば、米国内で生産されたトウモロコシは港湾に集積した後、太平洋を横断して、日本の港湾に到着する。港湾のサイロに一時貯蔵された後に、各地の飼料製造工場に運搬され、さらに販売店を経由して農家に至る。これらの生産および輸送に関わるすべてのエネルギー、資材等を計上し、積算することは、膨大な作業となることから、ここでは穀物の輸送に関する経路をごく単純化し、エネルギーの総量を積算した。

具体的には、農林水産技術情報協会(1997)の主要作目の作業体系におけるエネルギー消費原単位から、各生産過程のエネルギーを推定・積算し、穀実トウモロコシの生産に要するエネルギー(0.14Mcal/kg)とした。さらにマイロ等についても同様とみなし、濃厚飼料の生産に要するエネルギーは穀実トウモロコシに等しいとした。

飼料の輸送については、モデル経路として、米国農家～サンフランシスコ陸路300km、サンフランシスコ～東京海路8209km、東京～国内農家陸路200kmとし、陸路はトラック輸送、海路は運搬船による輸送とした。それぞれの輸送方法のエネルギー必要量は省エネルギーセンター(1998)の省エネルギーデータ集：輸送機関別エネルギー消費原単位の比較にあるデータを利用した。その結果、穀実トウモロコシ1kgを生産地から国内農家まで輸送するために必要なエネルギーは1.57Mcal/kgと推定された。これは生産に要するエネルギーの11倍である。結局、穀実トウモロコシ1kgを生産し、国内の農家まで輸送するのに必要なエネルギーは1.71Mcal/kgに達した。

ここに取り上げたトウモロコシ等の飼料のほかにも、一次産品、食品素材等の輸入量は膨大であり、輸入先は世界各地に分散していることから、今後、農業および食品全般のLCAのなかでデータベースとして整理することが望まれる。

#### 5. 肉牛繁殖

畜産分野に限らず農業におけるLCAを推進するには、対象とする生物の寿命の平均的な長さを決めなければならない。稲などの1年生の植物であれば、1個体の一生はおおよそ半年であり、1年以内に播種から収穫までの作業が終了する。主要穀類と比較し、家畜は長い寿命をもつことから、ここでは平均的な最終産次より年齢を推計し、肉牛の雌牛の寿命を7年とした。

肉牛繁殖の技術パラメータとして、育成雌牛の初回人工授精月齢をおおよそ15か月、妊娠期間を9.5か月とした。成雌牛の分娩間隔をおおよそ14か月としたことから、一生の間に4回の分娩と子牛の哺乳を行うことになる。これらの技術パラメータは飼養形態、地域等の要因により多少異なるが、今後モデルを拡充させていくことにより、それぞれの地域の現実に近い形で問

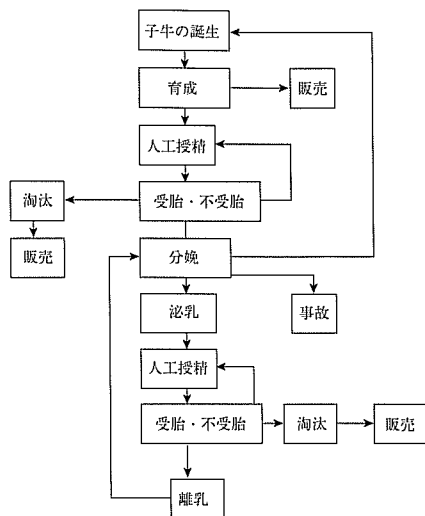


図1 肉牛繁殖のフローチャート

題を整理することが可能となろう。

国内の肉牛の繁殖経営は、畜産の他の部門より大規模化が進んでいるとはいえない状況にあり、現在の肉牛繁殖経営農家の多くが成雌牛10頭以下の飼養規模となっている。規模拡大が進まない原因としては、広い粗飼料生産圃場を必要とすること、さらに繁殖管理、疾病対策等にきめ細かい個体別管理を必要とすることなどがその要因であるとされている。このような実態を反映する形でLCAのフローを作成するために、肉牛1頭を単位として検討を行った。

肉牛繁殖のフローチャートを図1に示した。最初に子牛が誕生し、生後数か月間母牛とともに飼養管理され、270kgまで育成される。雄子牛は途中で去勢され、市場に出荷される。雌子牛も同様に育成、出荷されるが、一部は成雌牛の

更新用となる。育成雌牛については生後15か月で最初の人工授精を実施し、25か月で最初の分娩となる。成雌牛は初産を経た後に、14か月に一度の分娩を4産まで繰り返す、その後、不受胎、事故等の理由により廃用となる。

肉牛繁殖のLCAフローを検討するときはその範囲を決定することが重要な作業となる。ここでは成雌牛1頭が一生の間継続してシステム内に繋養されることとし、子牛は誕生後おおよそ8か月システム内に置かれるものとした。サイレージ、イナワラ等を自給粗飼料とし、輸入されたトウモロコシ等を濃厚飼料として摂取し、ふん尿処理・利用のためにオガクズ等を利用している。これらの成雌牛および子牛は窒素、リン等を含んだふん尿を排泄するが、通常の管理では排水は排出しない。呼気による炭酸ガス、メタン等を放出する。堆肥化等のふん尿処理過程では低級脂肪酸等の悪臭物質、窒素酸化物等が一時的に発生するが、ここでは堆肥化過程を肉牛飼養システムの外に位置づけた。

成雌牛の18か月齢以降の体重を480kgとし、表1脚注に示した各種原単位をもとに、成雌牛1頭と子牛生産に関わる資源消費と排出量を計算し、表1に整理した。飼養管理に要するエネルギーは畜舎内の光熱および飼料・ふん尿の経営内運搬に要するエネルギーである。飼養管理に要するエネルギーよりも、飼料の生産および輸送に要するエネルギーが15倍以上となっている。特に輸入飼料の輸送に要するエネルギーが大きい。表1には年間の資源消費量と排出量を

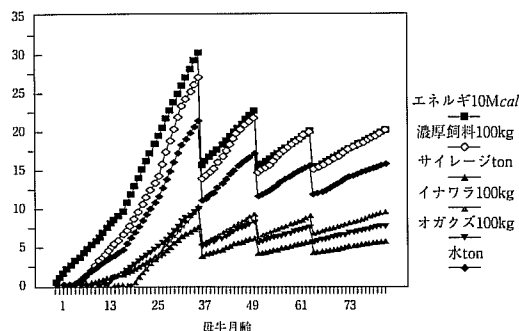


図2 育成牛1頭あたり資源消費量

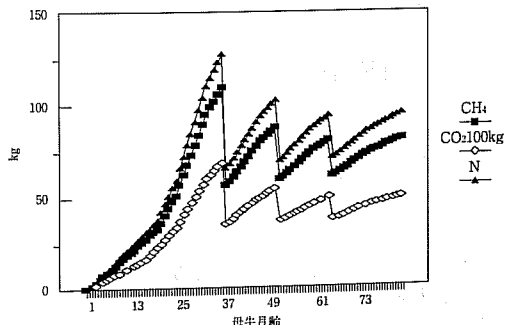


図3 育成牛1頭あたり排出量

表1 繁殖用成雌牛1頭と子牛の資源の消費と排出

| 資源消費量および廃棄物排出量      |                   | 内 訳       |            |
|---------------------|-------------------|-----------|------------|
| エネルギー消費量            | 飼養管理に要するエネルギー     | 電力        | 12.9kwh    |
|                     | 130Mcal/年         | ガソリン等     | 13ℓ        |
| 資源消費量               | 飼料の生産・輸送に要するエネルギー | 輸入飼料      | 1876Mcal/年 |
|                     | 1965Mcal/年        | 自給飼料      | 89Mcal/年   |
| 飼料                  | サイレージ             | 3650kg/年  |            |
|                     | 濃厚飼料              | 1095kg/年  |            |
|                     | イナワラ              | 730kg/年   |            |
|                     | 敷料                | オガクズ      |            |
|                     | 未利用木材             | 1216kg/年  |            |
| 水消費量                | 飲水量               | 12136kg/年 |            |
| メタン排出量              | 呼吸から              | 58.2kg/年  |            |
| CO <sub>2</sub> 排出量 | 呼吸から              | 3.5kg/年   |            |
| NO <sub>x</sub> 排出量 | (堆肥製造)            |           |            |
| SO <sub>x</sub> 排出量 | 僅少                |           |            |
| BOD 発生量             | なし                |           |            |
| COD 発生量             | なし                |           |            |
| SS 発生量              | なし                |           |            |
| 窒素排出量               |                   | 68.0kg/年  |            |
| 固形廃棄物発生量            | ふん尿現物重量           | 14564kg/年 |            |
|                     | ふん尿乾物重量           | 1942kg/年  |            |

- 1) エネルギー消費量は「主要作目の作業体系におけるエネルギー消費原単位 (1997)」によった。
- 2) 飼料給与量は日本飼養標準肉用牛1995年版を参考にした。
- 3) メタン排出量は陽 (1989) の記事を参照し、育成牛は成牛の半量を排出するとした。
- 4) 炭酸ガス排出量は Shibata et al. (1992) のデータを参照し、育成牛は成牛の半量を排出するとした。

示したが、これを7倍することにより成雌牛1頭の一生と哺乳・育成期間における4頭の子牛の分を含めた資源消費量と排出量が計算される。これを育成牛1頭あたりに換算するならば、図2および図3に示した結果となる。

図2に示したように、成雌牛が子牛を分娩するごとに育成牛1頭あたりの累積資源消費量は急減し、鋸の歯のような動きを示している。育成牛1頭あたりの累積資源消費量および排出量は、分娩・育成する子牛の頭数が増加すれば、急激に減少するものと予想されたが、資源の消費量・排出量が緩やかな減少をたどり、成雌牛

の廃用前には僅かながら上昇する結果となった。これは分娩間隔を14か月とやや長く設定したことなどにより、成雌牛の不妊期間の維持に要する経費が膨らんだことなどによると考えられる。また廃用前の不妊の維持期間には、生産物の増加がないにも拘わらず、飼養による資源消費が続いていることから、子牛1頭あたりの資源消費は僅かに増加したものと考えられた。図3の育成牛1頭あたりの排出量は、図2の資源消費量と同様の動きを示し、産子数の増加により、育成牛1頭あたりの排出量は減少したが、廃用前の不妊期間に僅かに増加した。

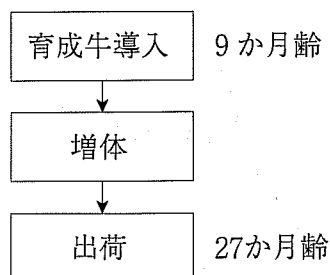


図4 肉牛肥育のフローチャート

## 6. 肉牛肥育

肉牛肥育のフローチャートを図4に示した。肉牛肥育はフローが単純であり、おおよそ270kgの去勢の育成牛を導入し、おおよそ700kgまで肥育し出荷する。肥育期間の途中で事故、疾病等の理由によりおおよそ1-3%が廃用となるが、ここでは事故等を見做すこととした。肉

表2 肥育牛1頭の資源の消費と排出

| 資源消費量および廃棄物排出量      |                   | 内 訳                              |
|---------------------|-------------------|----------------------------------|
| エネルギー消費量            | 飼養管理に要するエネルギー     | 電力 21kwh<br>ガソリン等 5.2ℓ           |
|                     | 飼料の生産・輸送に要するエネルギー | 輸入飼料 5936Mcal/年<br>自給飼料 42Mcal/年 |
| 資源消費量               | 飼料 乾草             | 506kg/年                          |
|                     | 濃厚飼料              | 3465kg/年                         |
|                     | イナワラ              | 506kg/年                          |
|                     | 敷料 オガクズ           |                                  |
|                     | 未利用木材             | 1216kg/年                         |
| 水消費量                | 飲水量               | 9125kg/年                         |
| メタン排出量              | 呼気から              | 43.8kg/年                         |
| CO <sub>2</sub> 排出量 | 呼気から              | 2.6kg/年                          |
| NO <sub>x</sub> 排出量 | (堆肥製造)            |                                  |
| SO <sub>x</sub> 排出量 | 僅少                |                                  |
| BOD 発生量             | なし                |                                  |
| COD 発生量             | なし                |                                  |
| SS 発生量              | なし                |                                  |
| 窒素排出量               |                   | 51.1kg/年                         |
| 固形廃棄物発生量            | ふん尿現物重量           | 10950kg/年                        |
|                     | ふん尿乾物重量           | 1460kg/年                         |

各種原単位の算定は表1と同様に行った。

牛肥育においては、乾草、イナワラ等を粗飼料とし、輸入されたトウモロコシ等を濃厚飼料として給与し、畜舎内のふん尿処理・利用のためにオガクズ等を利用している。肥育牛は繁殖牛と同様に窒素、リン等を含んだふん尿を排泄するが、通常の管理では排水は排出しない。呼気中に炭酸ガス、メタン等を放出する。またふん尿処理過程は繁殖牛と同様にシステムの外に置くこととした。

肥育期間の前期については乾草等の粗飼料を給与するが、後半は濃厚飼料とイナワラを中心に給与し、皮下、筋肉内に脂肪を沈着させている。LCAフローの評価にあたって、繁殖雌牛の例にならない、肥育全期間の資源消費量等を推定

した。

表1脚注に示した各種原単位をもとに、肥育に関わる累積資源消費量と累積排出量を計算し、表2に整理した。肉牛肥育においては、肉牛繁殖よりも濃厚飼料の給与量が多いことから、飼料の生産・輸送に要するエネルギーが過大なものとなり、飼養管理に要する光熱運搬等のエネルギーの61倍以上となっている。肥育期間における累積の資源消費量と排出量を図5および図6に示した。

図2、3と図5、6の育成牛1頭あたりと肥育牛の生涯の累積資源消費量および累積排出量を比較することにより、去勢牛の育成ステージと肥育ステージを対比させることができる。飼

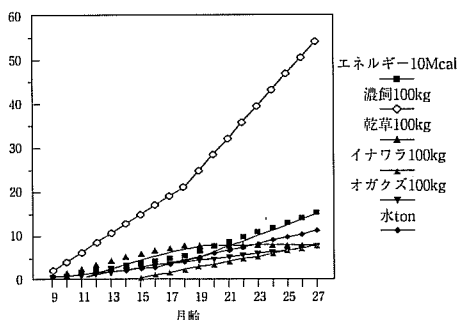


図5 肉牛肥育における累積資源消費量

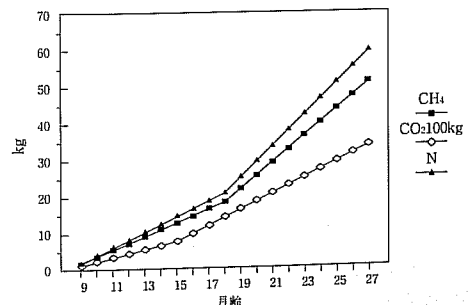


図6 肉牛肥育における累積排出量

養管理に要するエネルギー消費は育成牛：肥育牛の順序で202:151Mcalであり、濃厚飼料2067:5411kg, オガクズ800:760kg, メタン排出83:51kg, 炭酸ガス排出5031:3379kg, 窒素排出97:59kgとなった。エネルギー消費は育成ステージが1.3倍となったものの、肥育ステージにおける濃厚飼料の採食量は非常に多く、母牛の分まで負担した育成ステージの消費量の2.7倍となった。オガクズの消費量は育成ステージが肥育ステージをやや上回っている。メタン, 炭酸ガス, 窒素の各排出量は結局、摂取乾物量に依存することから、育成ステージが肥育ステージのおおよそ1.5-1.6倍となった。

九州農政局(1999)の経済的な評価によれば、肥育牛1頭の生産費はおおよそ70万円であり、素畜費は40万円であった。素牛の割合はおおよそ55%となり、肉牛肥育農家の経営から評価すると最も重要な要素とされてきた。このように、経済的評価においても育成ステージは肥育ステージよりも大きな重みをもつものと考えられた。

以上に検討してきたように、肉牛繁殖と肉牛肥育を資源消費量から評価した場合には、濃厚飼料以外の資源は育成期間において多く消費されたが、肥育期間の濃厚飼料の生産・輸送に要するエネルギーが過大であった。一方、メタン, 炭酸ガス等の排出量から評価した場合には育成期間が肥育期間を上回った。このように問題を整理してきたが、この結果はさらに精査する必要がある。そのためには農業部門のLCAに関わる資源、エネルギー、輸送等のデータベース

の拡充が必須となる。

また日本国内の畜産は資源を消費し、排出しているばかりではなく、産業廃棄物とされている豆腐粕, ビール粕等を飼料として利用し、積極的に社会の排出量を削減している。言葉は適切ではないが、スキヤベンジャーとしての家畜の役割は環境問題が深刻化しているなか、一層重要性を増している。今後は畜産のもつ環境浄化機能を積極的に評価したLCAをさらに推進する必要があると感じている。

#### 参考文献

- 陽 捷行(1989). 畜産の研究, 43 (10):1-2,  
農林水産技術情報協会(1997)主要作目の作業体系におけるエネルギー消費原単位(「新政策」を踏まえた作業体系におけるエネルギー消費見通し), 農林水産技術情報協会, 389-415  
農林水産技術会議事務局(1995). 日本飼養標準肉用牛 1995年版, 農林水産技術会議事務局, 110-118.  
Shibata M, et al., (1992) Anim.Sci.Tech., 63 (12):1221-1227,

#### インターネット情報

- 九州農政局鹿児島統計情報事務所(1999)統計速報鹿児島, 平成10年度肥育牛(去勢若齢 肥育牛)生産費, <http://www.synapse.ne.jp/~maffkagosima/data/data.html>,  
日本自動車工業会(1999)自動車におけるLCA研究のケーススタディ, <http://www.ner.co.jp/green-web/content/lca/car9905.html>,  
省エネルギーセンター(1998)省エネルギーデータ集, 輸送機関別エネルギー消費原単位の比較, <http://www.eccj.or.jp/databook/1998/p94.html>,

〒305-0901 茨城県稲敷郡茎崎町池の台2