

平成 22 年度畜産物需給関係学術研究情報収集推進事業報告書

# 有機畜産は環境にやさしいか？

－有機酪農を事例とした環境影響評価分析－

2011 年 3 月

山本 康貴（北海道大学大学院農学研究院）

増田 清敬（滋賀県立大学環境科学部）

吉田 裕介（北海道大学大学院農学院）

# 目次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第1章 課題                  | 2  |
| 第2章 分析方法とデータ            |    |
| 第1節 分析の基本枠組みと分析対象事例の概況  | 3  |
| 第2節 ファーム・ゲート・バランスの分析モデル | 5  |
| 第3節 ファーム・ゲート・バランスの計測方法  | 6  |
| 第4節 LCA 評価の枠組み          | 7  |
| 第3章 分析結果と考察             |    |
| 第1節 余剰窒素量の分析結果          | 8  |
| 第2節 余剰リン量の分析結果          | 11 |
| 第3節 富栄養化ポテンシャルの分析結果     | 14 |
| 第4章 結論                  | 15 |
| 引用・参考文献                 | 19 |

## 第1章 課題

日本の畜産経営は、規模拡大や技術進歩などを通じ、急速な発展を遂げてきた。しかし一方で、家畜排せつ物を通じた河川の水質汚染などにより、環境への負荷を高めてきたとの指摘もある。畜産物生産を環境に配慮した持続可能な方式に転換して行くことは、日本においても重要な課題と考えられる。こうした状況下で、注目されるのが有機畜産である。

日本では、2005年10月に有機畜産物のJAS規格が制定された。有機畜産物は、農業の自然循環機能の維持増進を図るため、環境への負荷をできる限り低減して生産された飼料を給与すること、動物用医薬品の使用を避けることを基本として、動物の生理学的および行動学的要求に配慮して飼養した家畜または家きんから生産することを原則としている（農林水産省、2006）。

本研究の目的は、有機畜産の環境影響評価分析を行うことである。具体的には、有機酪農経営と慣行酪農経営の環境影響を比較する。本研究における環境影響評価の手順は以下のとおりである。第1に、有機酪農と慣行酪農の農地面積当たり環境負荷ポテンシャルをライフサイクルアセスメント（LCA）という環境影響評価手法を用いて計測する。第2に、計測された有機酪農の農地面積当たり環境負荷ポテンシャルが慣行酪農の農地面積当たり環境負荷ポテンシャルより小さければ、「慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる」可能性がある判断される。こうした判断方法は、多くの既存研究でも用いられている（Cederberg and Mattsson, 2000 ; Grönroos et al, 2006 ; Haas et al., 2001 ; Thomassen et al., 2008 など）。

本研究で分析対象事例とする有機酪農とは、有機畜産物のJAS規格認証を受けた生乳生産を行う酪農経営である。日本では、LCAを用いた有機酪農に関連した環境影響評価の既存研究として、東城ら（2006）、増田・山本（2009、2010）がある。東城ら（2006）の研究では、有機酪農を目指しているとはいえ、まだ有機JAS規格認証を取得していない酪農経営が分析対象となっている。増田・山本（2009、2010）の研究は、本研究のように生乳生産を含めた有機酪農経営全体ではなく、有機飼料生産だけに限定した分析に留まっている。筆者らは、日本において、有機畜産物のJAS規格認証を受けた有機酪農経営の環境影響評価を行った研究を見出すことはできなかった。

## 第2章 分析方法とデータ

### 第1節 分析の基本枠組みと分析対象事例の概況

本研究で環境影響評価手法として用いられる LCA は、環境影響を総合的に評価する手法として広く知られている（伊坪ら，2007）。以下では、LCA で計測する環境負荷を窒素とリンに限定して、それらを富栄養化ポテンシャルとして分析する。

本研究では、LCA で評価対象とした窒素やリンの計測方法としてファーム・ゲート・バランスを用いる。ファーム・ゲート・バランスとは、農業経営を1つのシステムとしてとらえ、システム内に投入される生産資材などに含まれる物質から、システム外へ産出される生産物などに含まれる物質を差し引くことで、システム内において余剰となる物質を定量化する方法である（注1）。

本研究では、A 地域における5戸の有機酪農経営グループを分析対象事例とする。本研究では、この有機酪農経営グループを1つの有機酪農システムとして捉える。

表1は、有機酪農経営グループ（5戸）の経営概況（2007年）である。有機酪農経営グループの2007年における乳牛飼養頭数は387頭（経産牛220頭、育成牛167頭）、農地面積は206.3haである（注2）。

表1 有機酪農経営グループ（5戸）の経営概況（2007年）

|           |       |
|-----------|-------|
| 乳牛飼養頭数(頭) | 387   |
| うち経産牛(頭)  | 220   |
| うち育成牛(頭)  | 167   |
| 農地面積(ha)  | 206.3 |

資料：有機酪農経営資料より作成。

本分析対象事例の有機酪農と比較する慣行酪農の富栄養化ポテンシャルは、築城・原田（1996、1997）の A 地域における分析結果を利用して計測する。具体的には、築城・原田（1996、1997）による窒素・リンのフロー量の推計結果をファーム・ゲート・バランスに基づいて再集計し、富栄養化ポテンシャルを求める。

築城・原田（1996、1997）における最新の分析対象年である 1990 年の分析結果と本分析結果が比較される。1990 年は、本分析年次と比べると古い。とはいえ、築城・原田（1996、1997）の分析結果は『牛乳生産費調査』データを用いたものであることから、A 地域の平均的な慣行酪農とみなせるというメリットがある。

表 2 は、A 地域における慣行酪農（1 戸当たり）の経営概況（1990 年）である。A 地域の 1990 年における慣行酪農 1 戸当たり乳牛飼養頭数は 63 頭（成牛 34 頭、育成牛 29 頭）、農地面積は 34.0ha である（注 3）。

表 2 A 地域における慣行酪農（1 戸当たり）の経営概況（1990 年）

|           |      |
|-----------|------|
| 乳牛飼養頭数(頭) | 63   |
| うち成牛(頭)   | 34   |
| うち育成牛(頭)  | 29   |
| 農地面積(ha)  | 34.0 |

資料：築城・原田（1996、1997）より作成。

## 第2節 ファーム・ゲート・バランスの分析モデル

図1は、本研究におけるファーム・ゲート・バランスの分析モデルである。有機酪農システムにおける投入・産出データは、有機酪農経営グループの営農データおよび聞き取り調査により入手した。システム内への投入物は、①購入飼料、②購入肥料、③敷料とし、システム外への産出物は、④生乳、⑤牛個体、⑥堆肥とした。

システム内への投入として、降水やマメ科牧草による窒素固定などが、またシステム外への産出として、畜舎や農地からの窒素揮散なども考えられる。しかし、これらは、築城・原田（1996、1997）では分析されていないため、本研究でも分析されない。

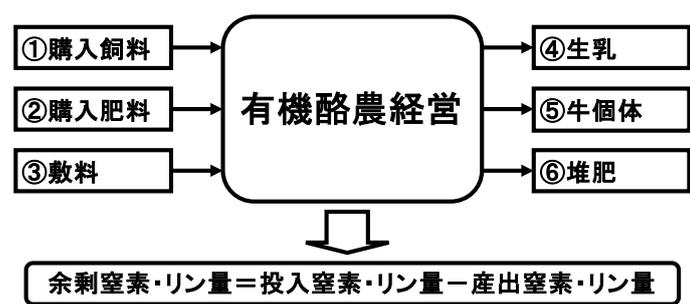


図1 本研究における分析モデル

### 第3節 ファーム・ゲート・バランスの計測方法

#### ① 購入飼料

購入飼料の投入窒素・リン量は、銘柄別の購入飼料にそれぞれの窒素・リン含有率を乗じて求めた。集計した購入飼料量は、有機酪農経営グループにおける年間の購入量である。購入飼料の窒素・リン含有率は、飼料メーカーから聞き取った値を用いた。

#### ② 購入肥料

購入肥料の投入窒素・リン量は、銘柄別の購入肥料にそれぞれの窒素・リン含有率を乗じて求めた。集計した購入肥料量は、有機酪農経営グループにおける年間の購入量である。有機飼料生産圃場に投入された購入肥料量は、有機飼料生産圃場と有機転換中圃場の面積比を用いて購入肥料量合計値を按分して推計した。購入肥料の窒素・リン含有率は、肥料メーカーから聞き取った値を用いた。

#### ③ 敷料

敷料の投入窒素・リン量は、有機酪農経営グループが自作する小麦からの麦稈量の推計値と、システム外から購入する、ないしは堆肥と交換した麦稈量を合計したものに、麦稈の窒素・リン含有率を乗じて求めた。ただし、余剰となり経営外に販売された麦稈量は差し引いた。有機酪農経営グループが自作する麦稈量は、地域内の小麦平均単収および尾和（1996）に基づいて推計した。システム外から投入された麦稈量は、有機酪農経営グループから聞き取った値を用いた。麦稈の窒素・リン含有率は、尾和（1996）を用いた。

#### ④ 生乳

生乳の産出窒素量は、生乳販売量に乳たんぱく質率を乗じ、窒素 - たんぱく質換算係数（窒素含量からたんぱく質含量を算出するために、窒素含量に乘じる係数）で除して求めた。生乳の産出リン量は、生乳販売量に生乳のリン含有率を乗じて求めた。生乳販売量および乳たんぱく質率は有機酪農経営グループの営農データを、窒素 - たんぱく質換算係数および生乳のリン含有率は文部科学省（2005）を用いた。

#### ⑤ 牛個体

牛個体の産出窒素・リン量は、牛個体販売頭数に牛個体体重および窒素・リン含有率を乗じて求めた。牛個体販売頭数のうち、有機酪農経営グループ内で取引された牛は分析から除外した。牛個体販売頭数は、有機酪農経営グループから聞き取った値を用いた。牛個体体重は北海道農政部（2005）、牛個体の窒素・リン含有率は畜産大事典編集委員会（1996）を用いた。

## ⑥ 堆肥

堆肥の産出窒素・リン量は、麦稈との交換でシステム外へ持ち出される産出堆肥量に窒素・リン含有率を乗じて求めた。産出堆肥量は、有機酪農経営グループから聞き取った値を用いた。堆肥の窒素・リン含有率は、有機酪農経営グループにおけるふん尿の肥料成分データを用いた。

## 第4節 LCA 評価の枠組み

本研究では、「慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる」可能性があるか否かを判断するために、第1章のとおり、LCA を用いて環境影響評価分析を行う。以下では、本研究の LCA 評価の枠組みについて概説する。

第1に、本研究の LCA は、「生乳を対象として、生乳の生産による富栄養化への影響を評価すること」を目的とし、調査範囲を「生乳生産に必要な投入物が投入されてから、生乳が生産されるまで」とする（注4）。また、機能単位（LCA で分析される環境負荷を評価する単位）を「農地面積 1ha 当たり」とする。

第2に、環境負荷を計測するために、酪農経営の生乳生産におけるシステム内への投入物（購入飼料、購入肥料、敷料）、およびシステム外への産出物（生乳、牛個体、堆肥）に関するデータを収集する。

第3に、ファーム・ゲート・バランスを用いて、酪農経営において投入される窒素・リン量から産出される窒素・リン量を差し引くことで、余剰となる窒素・リン量を計算する。その後、余剰窒素量および余剰リン量をリン酸（ $\text{PO}_4$ ）等量に換算し、富栄養化ポテンシャルとして評価する。

本研究では、以上の手順で計測された有機酪農の富栄養化ポテンシャルが慣行酪農の富栄養化ポテンシャルより小さければ、「慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる」可能性があると判断される。本研究では、データ制約などから、環境負荷ポテンシャルが富栄養化ポテンシャルだけに限定されているとはいえ、こうした判断方法は、多くの既存研究でも用いられている（Cederberg and Mattsson, 2000 ; Grönroos et al., 2006 ; Haas et al., 2001 ; Thomassen et al., 2008 など）。

なお、富栄養化ポテンシャルは、上述したように機能単位を「農地面積 1ha 当たり」としたうえで、有機酪農と慣行酪農間で比較評価される。分析に用いた農地面積は、有機酪農については表1の農地面積（有機飼料生産圃場面積）（注5）、慣行酪農については表2の農地面積である。

### 第3章 分析結果と考察

#### 第1節 余剰窒素量の分析結果

##### ① 投入窒素量（注6）

図2は1ha当たり投入窒素量の分析結果（有機酪農=100）である。有機酪農の1ha当たり投入窒素量を100（118.4kgN/ha/年）としたとき、慣行酪農は137.5（162.7kgN/ha/年）であった。

投入窒素量における内訳の割合を見ると、有機酪農が購入飼料60.6%、購入肥料34.4%、敷料4.9%であり、慣行酪農が購入飼料56.2%、購入肥料42.0%、敷料1.9%であった。

分析対象事例の有機酪農は、慣行酪農と比べると、システム外から投入される1ha当たり購入飼料・購入肥料窒素量が少なく、自給飼料を中心とした生乳生産を行っている。このことが、有機酪農の方が慣行酪農よりも1ha当たり投入窒素量が少なくなっている要因の1つと推察される。

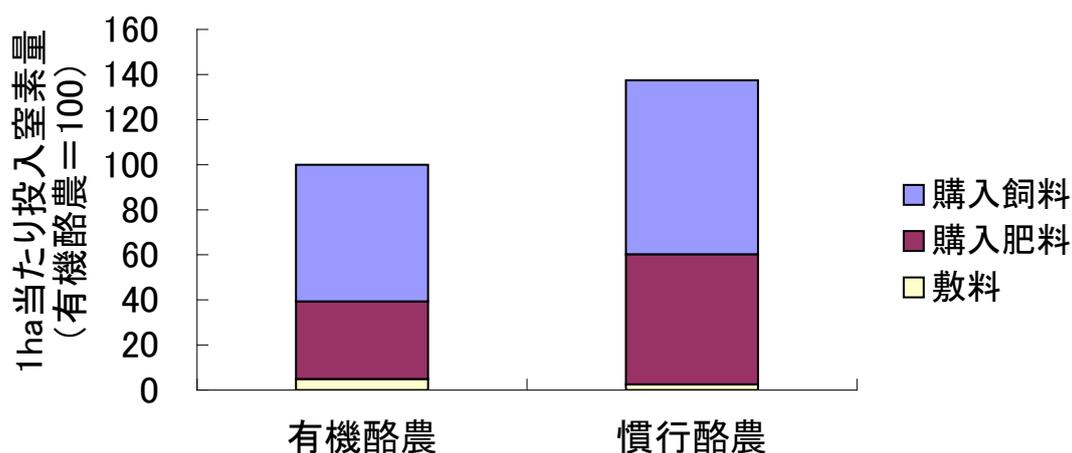


図2 1ha当たり投入窒素量の分析結果（有機酪農=100）

資料：慣行酪農は築城・原田（1996）。

## ② 産出窒素量（注7）

図3は1ha当たり産出窒素量の分析結果（有機酪農=100）である。有機酪農の1ha当たり産出窒素量を100（54.0kgN/ha/年）としたとき、慣行酪農は109.5（59.1kgN/ha/年）であった。

産出窒素量における内訳の割合を見ると、有機酪農が生乳63.1%、牛個体11.2%、堆肥25.7%であり、慣行酪農が生乳64.5%、牛個体18.7%、堆肥16.7%であった。

分析対象事例の有機酪農は、慣行酪農と比べると、①投入窒素量の小節でも示したように1ha当たり購入飼料窒素量が少ないため、1ha当たり生乳窒素量も少なくなっている。このことが、有機酪農の方が慣行酪農よりも1ha当たり産出窒素量が少なくなっている要因の1つと推察される。

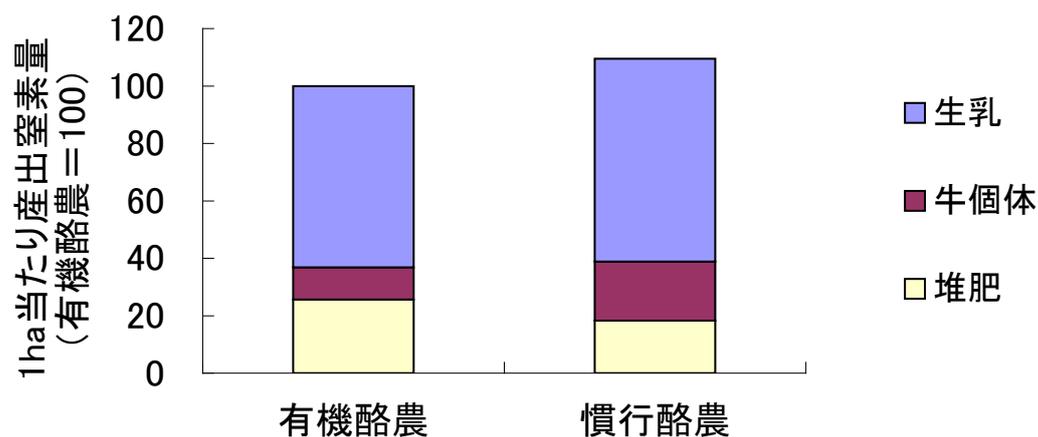


図3 1ha当たり産出窒素量の分析結果（有機酪農=100）

資料：慣行酪農は築城・原田（1996）。

③ 余剰窒素量（注 8）

1ha 当たり余剰窒素量は、環境負荷ポテンシャル指標の 1 つである。1ha 当たり余剰窒素量の値が小さいほど、より環境負荷ポテンシャルは小さいと判断される。

図 4 は 1ha 当たり余剰窒素量の分析結果（有機酪農＝100）である。1ha 当たり余剰窒素量は、1ha 当たり投入窒素量から 1ha 当たり産出窒素量を差し引いて求めた。有機酪農の 1ha 当たり余剰窒素量を 100（64.4kgN/ha/年）としたとき、慣行酪農は 160.9（103.6kgN/ha/年）であった。

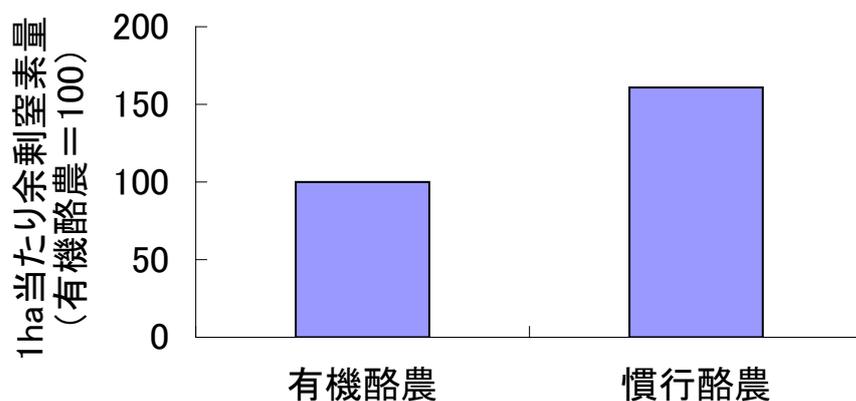


図 4 1ha 当たり余剰窒素量の分析結果（有機酪農＝100）

資料：慣行酪農は築城・原田（1996）。

## 第2節 余剰リン量の分析結果

### ① 投入リン量（注9）

図5は1ha当たり投入リン量の分析結果（有機酪農=100）である。有機酪農の1ha当たり投入リン量を100（45.6kgP/ha/年）としたとき、慣行酪農は91.6（41.8kgP/ha/年）であった。

投入リン量における内訳の割合を見ると、有機酪農が購入飼料25.6%、購入肥料72.9%、敷料1.6%であり、慣行酪農が購入飼料29.0%、購入肥料70.0%、敷料1.0%であった。

有機酪農では化学肥料の投入を避けるのが原則である。このため、分析対象事例の有機酪農では、化学肥料の代替として、グアノ（海鳥のふんが堆積してできた肥料）や鶏糞など、リン成分を相対的に多く含む有機肥料を投入していた。このことが、有機酪農の方が、慣行酪農よりも1ha当たり投入リン量が多くなっている要因の1つと推察される。

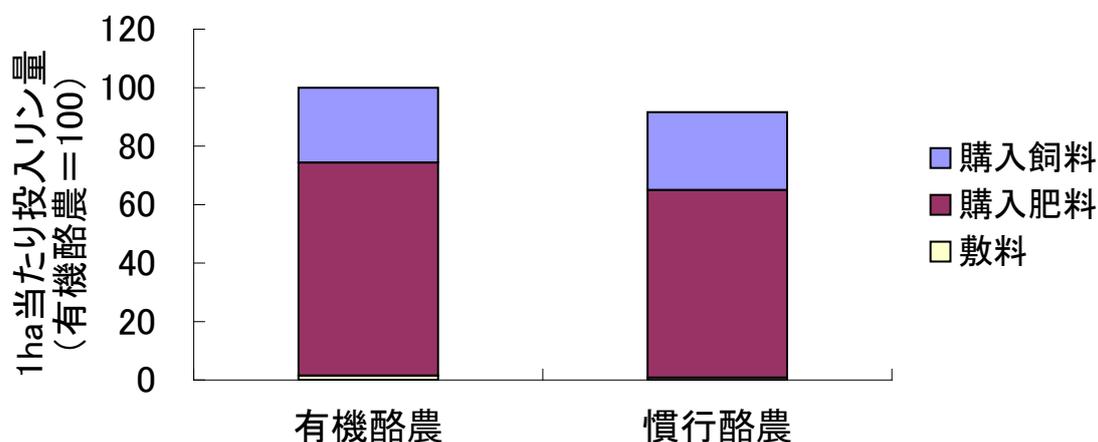


図5 1ha当たり投入リン量の分析結果（有機酪農=100）

資料：慣行酪農は築城・原田（1997）。

## ② 産出リン量 (注 10)

図 6 は 1ha 当たり産出リン量の分析結果 (有機酪農=100) である。有機酪農の 1ha 当たり産出リン量を 100 (13.2kgP/ha/年) としたとき、慣行酪農は 82.2 (10.9kgP/ha/年) であった。

産出リン量における内訳の割合を見ると、有機酪農が生乳 48.6%、牛個体 15.0%、堆肥 36.3% であり、慣行酪農が生乳 58.1%、牛個体 30.3%、堆肥 11.6% であった。有機酪農、慣行酪農ともに、生乳の割合が第 1 位である点は同じだが、有機酪農は、慣行酪農よりも堆肥の割合が高かった。

分析対象事例の有機酪農では、麦稈と堆肥の交換によって、敷料の多くを確保している。このことが、有機酪農の方が慣行酪農よりも 1ha 当たり産出リン量が多くなった要因の 1 つと推察される。

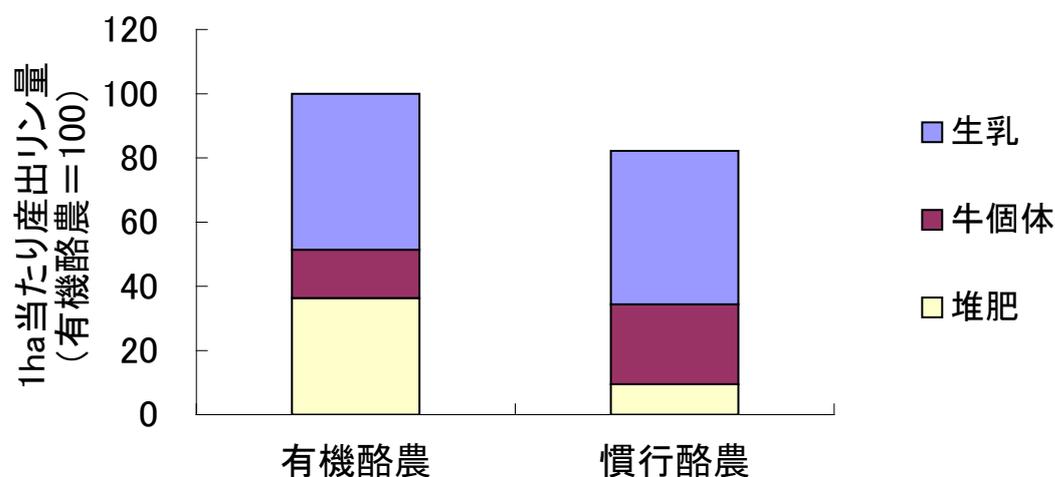


図 6 1ha 当たり産出リン量の分析結果 (有機酪農=100)

資料：慣行酪農は築城・原田 (1997)。

### ③ 余剰リン量 (注 11)

1ha 当たり余剰リン量も、1ha 当たり余剰窒素量と同様に、環境負荷ポテンシャル指標の 1 つである。1ha 当たり余剰リン量についても、その値が小さいほど、より環境負荷ポテンシャルは小さいと判断される。

図 7 は 1ha 当たり余剰リン量の分析結果 (有機酪農=100) である。1ha 当たり余剰リン量は、1ha 当たり投入リン量から 1ha 当たり産出リン量を差し引いて求めた。有機酪農の 1ha 当たり余剰リン量を 100 (32.4kgP/ha/年) としたとき、慣行酪農は 95.5 (30.9kgP/ha/年) であった。つまり、1ha 当たり余剰リン量は、慣行酪農が有機酪農よりも、約 5% だけ下回っている。とはいえ、有機酪農と慣行酪農間における 1ha 当たり余剰リン量の差は、1ha 当たり余剰窒素量の差 (約 60%、慣行酪農が有機酪農よりも大) よりも、はるかに小さい。

有機酪農では、化学肥料投入を避けることが原則である。このため、分析対象事例の有機酪農では、化学肥料の代替として、リン成分を多く含む有機肥料を投入している点は、①投入リン量の小節でも指摘した。このように、分析対象事例の有機酪農では、1ha 当たり投入リン量が多くなってしまい、結果として 1ha 当たり余剰リン量も多くなってしまうのは、やむを得ない面があると考ええる。

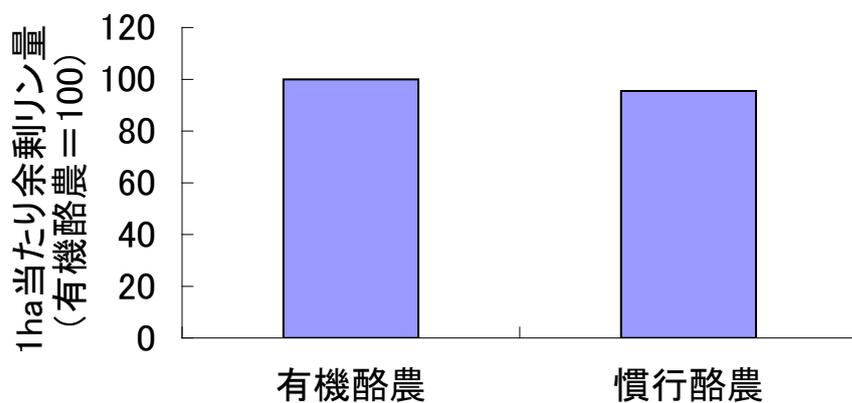


図 7 1ha 当たり余剰リン量の分析結果 (有機酪農=100)

資料：慣行酪農は築城・原田 (1997)。

### 第3節 富栄養化ポテンシャルの分析結果（注12）

余剰窒素量と余剰リン量の増加は、いずれも富栄養化ポテンシャルを高める要因となる。このため、1ha当たりの余剰窒素量と余剰リン量を、1ha当たり富栄養化ポテンシャルとして総合評価した分析結果（有機酪農＝100）が図8である。富栄養化ポテンシャルは、余剰窒素量に特性分析係数0.42、余剰リン量に特性分析係数3.06を、それぞれ乗じて（Heijungs et al., 1992）、リン酸等量に換算した結果である。有機酪農の1ha当たり富栄養化ポテンシャルを100（126.1kgPO<sub>4</sub>eq/ha/年）としたとき、慣行酪農は109.5（138.1kgPO<sub>4</sub>eq/ha/年）であった。

富栄養化ポテンシャルにおける内訳の割合を見ると、有機酪農が余剰窒素21.4%、余剰リン78.6%であり、慣行酪農では余剰窒素31.5%、余剰リン68.5%であった。有機酪農、慣行酪農ともに、富栄養化ポテンシャルに対する内訳の割合は、余剰リンの方が余剰窒素よりも高かった。

1ha当たり余剰リン量は、有機酪農と慣行酪農で概ね同水準であった一方、1ha当たり余剰窒素量は慣行酪農が有機酪農よりも約60%多かった。このため、1ha当たり富栄養化ポテンシャルは、有機酪農の方が慣行酪農よりも小さくなったものと推察される。

以上のように、1ha当たりの余剰窒素量と余剰リン量の結果をLCAで総合評価した1ha当たり富栄養化ポテンシャルは、慣行酪農が有機酪農よりも、約10%上回っている。この結果から、「慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる」可能性がある点が示唆される。

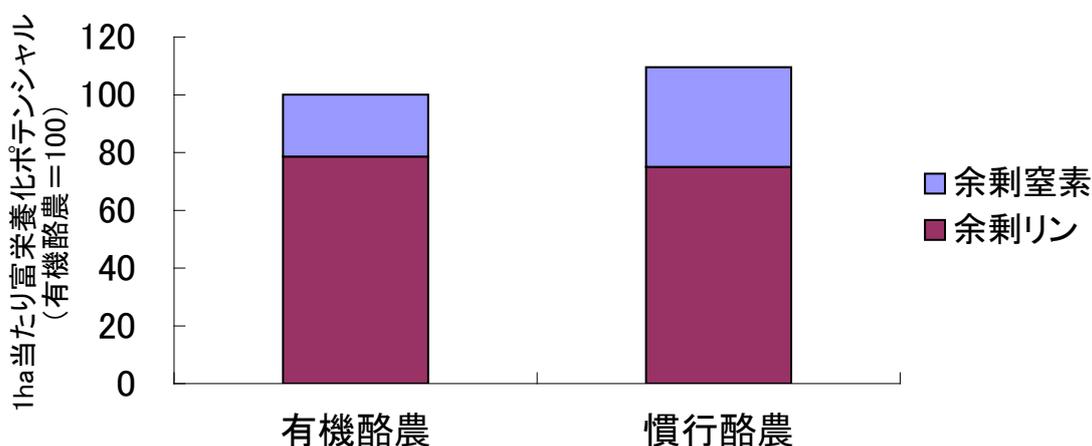


図8 1ha 当たり富栄養化ポテンシャルの分析結果（有機酪農＝100）

資料：慣行酪農は築城・原田（1996、1997）。

## 第4章 結論

本研究では、慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる可能性について、ライフサイクルアセスメント（LCA）を用いて分析を試みた。本研究における「より環境負荷が小さい」との判断は、次の手順でなされた。第1に、有機酪農と慣行酪農の農地面積当たり環境負荷ポテンシャルを LCA という環境影響評価手法を用いて計測した。第2に、計測された有機酪農の環境負荷ポテンシャルが慣行酪農の環境負荷ポテンシャルより小さければ、「慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる」可能性があるとして判断した。

分析の結果、1ha 当たりの余剰窒素量と余剰リン量の結果から総合評価した 1ha 当たり富栄養化ポテンシャルは、有機酪農の方が慣行酪農よりも小さかった。この結果から、「慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる」可能性がある点が示唆された（注13）。

以上のように、本研究では、有機酪農経営を分析対象事例とし、有機畜産経営における環境保全面に及ぼす影響可能性に関する実証分析結果について、情報提供ができた。とはいえ、日本において、慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となるか否かについての実証研究は、本研究が嚆矢であり、まだ緒についたばかりである。このため、今後のこうした研究の発展方向を指摘して、結びとしたい。

第1に、余剰窒素量と余剰リン量に基づいた富栄養化ポテンシャルだけではなく、地球温暖化ポテンシャルなどの環境負荷ポテンシャル項目の拡張、評価年次の延長、分析データの更なる精緻化などを試みる点である。

第2に、環境負荷ポテンシャルといった環境に及ぼすマイナス面（外部不経済効果）をより減少させる影響だけではなく、家畜福祉、生物多様性、グリーン・ツーリズムなど、有機畜産が環境に及ぼすプラス面（外部経済効果）をより増加させる影響についても、分析を試みる点である。

第3に、酪農以外の有機畜産経営についても、分析を試みる点である。

## 謝辞

本研究は、平成 22 年度畜産物需給関係学術研究情報収集推進事業に基づく研究委託によるものです。本研究委託に関わる事務手続きを遂行して頂いた農畜産業振興機構ならびに北海道大学の事務担当者の方々に感謝申し上げます。

本研究における分析対象事例の有機酪農経営グループおよび同グループ関係各機関からは、データ・情報提供などのご協力を頂きました。文献・資料・情報の収集・整理などの作業では、北海道大学農業環境政策学研究室の大学院生に多大なご協力を頂きました。これらの方々に感謝申し上げます。

## 注記

注 1) ファーム・ゲート・バランスにより定量化される余剰物質を環境指標として位置づけることは、OECD (1999) でも紹介されており、また実際の分析利用例として Aarts et al. (1999)、Dalgaard, Halberg and Kristensen (1998)、Haas et al. (2006)、Halberg, Kristensen and Kristensen (1995)、増田・宿野部 (2004)、Ondersteijn et al. (2002)、Van Keulen et al. (2000) などがある。ファーム・ゲート・バランスでは、営農方法の工夫による環境負荷軽減努力も反映できる。例えば、農地への堆肥還元による購入肥料節減や、自給飼料活用による購入飼料削減などの環境負荷軽減努力は、購入肥料や購入飼料における投入窒素・リン量低減にともなう余剰窒素・リン量低減というかたちで分析できる。

注 2) 表 1 の農地面積は、有機飼料生産圃場面積であり、有機転換中圃場面積や非有機圃場面積は含まれない。有機飼料生産圃場以外（有機転換中圃場と非有機圃場）面積は、有機飼料生産圃場面積の 1 割程度である。

注 3) 表 2 の農地面積は、農林水産省 (1991) における A 地域酪農の経営耕地面積平均、畜産用地の放牧地および採草地面積平均の合計であり、築城・原田 (1996、1997) の自家農耕地面積に対応する。

注 4) LCA による環境影響評価では、製品の生産から消費、廃棄までの広い評価範囲とすることができる。しかしながら、農業分野の既存研究では、農産物の生産段階までを評価範囲に限定し、農産物の消費、廃棄については評価範囲として含めないことが多く、日本の農業分野における研究例では、水稻や畑作物などの栽培段階や、家畜の生産段階に焦点を当てた LCA 分析が多く試みられている（増田，2007 など）。本研究においても、有機酪農経営内における生乳生産段階までに限定した LCA 分析を試みている。

注 5) 有機転換中圃場で生産された飼料は、有機生乳生産に用いないことを原則としているため、近隣の慣行酪農経営に販売していた。このため、非有機圃場の面積だけではなく有機転換中圃場の面積も、1ha 当たり富栄養化ポテンシャルの分析に含めていない。

注 6) 投入窒素量の計測方法について、有機酪農経営グループにおける購入飼料の 1 つ（オーガニックと

うもろこし) を例にとり説明する。有機酪農経営グループにおけるオーガニックとうもろこしの年間購入量に、オーガニックとうもろこしの乾物率(水分を除いた部分の割合)、乾物中の粗たんぱく質率、および粗たんぱく質中の窒素含有率を乗じたものが、有機酪農経営グループが1年間に購入したオーガニックとうもろこしによる投入窒素量として求められる。

注7) 産出窒素量の計測方法について、有機酪農経営グループにおける産出物の1つである生乳を例にとり説明する。有機酪農経営グループ構成農家における月別生乳販売量に、各月に販売された生乳中の乳たんぱく質率を乗じ、さらに乳における窒素-たんぱく質換算係数(乳中の窒素含量から乳たんぱく質含量を算出するために、乳中窒素含量に乘じる係数)で除すことで、各月に販売される生乳中に含まれる窒素量が求められる。このようにして求められた各構成農家の各月における生乳窒素量を1年分合計し、さらに有機酪農経営グループ構成農家5戸分を合計することで、有機酪農経営グループが1年間に販売した生乳による産出窒素量が求められる。

注8) 1ha当たり投入窒素量から1ha当たり産出窒素量から差し引くことで、有機酪農における1ha当たり余剰窒素量は64.4(=118.4-54.0) kgN/ha/年と計算される。

注9) 投入リン量の計測方法について、有機酪農経営グループにおける購入飼料の1つ(オーガニックとうもろこし)を例にとり説明する。有機酪農経営グループにおけるオーガニックとうもろこしの年間購入量に、オーガニックとうもろこしの乾物率(水分を除いた部分の割合)および乾物中のリン含有率を乗じたものが、有機酪農経営グループが1年間に購入したオーガニックとうもろこしによる投入リン量として求められる。

注10) 産出リン量の計測方法について、有機酪農経営グループにおける産出物の1つである生乳を例にとり説明する。有機酪農経営グループの年間生乳販売量に、生乳のリン含有率を乗じたものが、有機酪農経営グループが1年間に販売した生乳による産出リン量として求められる。

注11) 1ha当たり投入リン量を1ha当たり産出リン量から差し引くことで、有機酪農における1ha当たり余剰リン量は32.4(=45.6-13.2) kgP/ha/年と計算される。

注12) 有機酪農における1ha当たり富栄養化ポテンシャルの計測方法は以下の通りである。有機酪農における余剰窒素由来の1ha当たり富栄養化ポテンシャルは、1ha当たり余剰窒素量64.4kgN/ha/年に、窒素における特性分析係数0.42(Heijungs et al., 1992)を乗じた27.0kgPO<sub>4</sub>eq/ha/年である。また有機酪農における余剰リン由来の1ha当たり富栄養化ポテンシャルは、1ha当たり余剰リン量32.4kgP/ha/年に、リンにおける特性分析係数3.06(Heijungs et al., 1992)を乗じた99.1kgPO<sub>4</sub>eq/ha/年である。余剰窒素由来と余剰リン由来の1ha当たり富栄養化ポテンシャルを合計することで、有機酪農における1ha当たり富栄養化ポテンシャルは126.1(=27.0+99.1) kgPO<sub>4</sub>eq/ha/年と計算される。

注 13) 本研究の分析結果は、「慣行酪農から有機酪農への転換は、より環境負荷が小さい酪農経営となる」可能性を示唆するものであって、慣行酪農が「環境負荷が大きい」酪農経営である可能性を示唆するものではない点については、十分に注意されたい。

## 引用・参考文献

- [1] Aarts, H.F.M., Habekotté, B., Hilhorst, G.J., Koskamp, G.J., van der Schans, F.C. and de Vries, C.K., “Efficient resource management in dairy farming on sandy soil,” *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Vol.47, 1999, pp.153-167.
- [2] 阿部亮・朝井洋・池谷守司・石岡宏司・宇佐川智也・内海恭三・大石孝雄・唐澤豊・久米新一・丹羽美次・並河澄・吉本正『農学基礎セミナー 新版 家畜飼育の基礎』, 農山漁村文化協会, 2008.
- [3] Casey, J.W. and Holden, N.M., “Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system,” *Agricultural Systems*, Vol.86, 2005, pp.97-114.
- [4] Cederberg, C. and Mattsson, B., “Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming,” *Journal of Cleaner Production*, Vol.8, 2000, pp.49-60.
- [5] 畜産大事典編集委員会『新編畜産大事典』, 養賢堂, 1996.
- [6] Dalgaard, T., Halberg, N. and Kristensen, I. S., “Can organic farming help to reduce N-losses? Experiences from Denmark,” *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol.52, 1998, pp.277-287.
- [7] 出村克彦・山本康貴・吉田謙太郎『農業環境の経済評価 - 多面的機能・環境勘定・エコロジー - 』, 北海道大学出版会, 2008.
- [8] De Vries, M. and de Boer, I.J.M., “Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments,” *Livestock Science*, Vol.128, 2010, pp.1-11.
- [9] Grönroos, J., Seppälä, J., Voutilainen, P., Seuri P. and Koikkalainen, K., “Energy use in conventional and organic milk and rye bread production in Finland,” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.117, 2006, pp.109-118.
- [10] Gruber, L., Steinwender, R., Guggenberger, T. and Plakolm, G., “Comparison of organic and conventional farming on a grassland farm -3<sup>rd</sup> Communication: Nutrient balances on supply/withdrawal basis and import/export basis,” *Die Bodenkultur*, Vol.52, No.2, 2001, pp. 183-195.
- [11] Haas, G., Deittert, C. and Köpke, U., “Farm-gate nutrient balance assessment of organic dairy farms at different intensity levels in Germany,” *Renewable Agriculture and Food Systems*, Vol.22, No.3, 2006, pp.223-232.
- [12] Haas, G., Wetterich, F. and Köpke, U., “Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment,” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.83, 2001, pp.43-53.
- [13] Halberg, N., Kristensen, E.S. and Kristensen, I.S., “Nitrogen Turnover on Organic and Conventional Mixed Farms,” *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Vol.8, No.1, 1995, pp.30-51.

- [14] Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G, van Duin, R. and de Goede, H.P., Environmental life cycle assessment of products: Guide and Backgrounds, Centre of Environmental Science, 1992.
- [15] 樋口昭則・三宅俊輔・澤岨直哉「環境負荷を考慮した経営計画モデルの作成 - 余剰窒素を対象として -」, 『2005年度日本農業経済学会論文集』, 2005, pp.339-346.
- [16] 北海道農政部『北海道農業生産技術体系 (第3版)』, 北海道農業改良普及協会, 2005.
- [17] 伊坪徳宏・田原聖隆・成田暢彦『LCA シリーズ LCA 概論』, 産業環境管理協会, 2007.
- [18] 柏村文郎・増子孝義・古村圭子『乳牛管理の基礎と応用 2006年改訂版』, デーリィ・ジャパン社, 2006.
- [19] 加藤 (河上) 博美・干場信司・野田直行・森田茂・池口厚男「多面的評価指標による飼料生産体系の異なる2地域の比較」, 『農業施設』Vol.35, No.2, 2004, pp.103-111.
- [20] King, J.A., Shepherd, M.A., Hyslop, J.J. and Keatinge, R., “An Assessment of the Environmental Impacts at the Farm Scale of Three Organic Dairy Systems,” *Biological Agriculture and Horticulture*, Vol.24, 2007, pp.317-339.
- [21] 増田清敬「LCA (ライフサイクルアセスメント) を用いた酪農経営の環境影響評価」, 『北海道大学大学院農学研究院邦文紀要』 Vol.28, No.2, 2007, pp.203-297.
- [22] 増田清敬・宿野部猛「ミネラル収支制度の Farm Gate Balance Approach による酪農経営の水質汚染問題に関する定量分析 - 北海道酪農専業地帯における飼料生産協業組織を事例として -」, 『農経論叢』 Vol.60, 2004, pp.161-168.
- [23] 増田清敬・山本康貴「有機飼料および慣行飼料生産システムにおける環境影響の比較評価」, 『システム農学』 Vol.25, 別号2, 2009, pp.47-48.
- [24] 増田清敬・山本康貴「有機農業は環境に優しいか? - 有機飼料生産を事例とした LCA 分析からの接近 -」, 『2010年度日本農業経済学会大会報告要旨』, 2010, p.P15.
- [25] 松木洋一・永松美希『日本と EU の有機畜産 - ファームアニマルウェルフェアの実際 -』, 農山漁村文化協会, 2004.
- [26] 文部科学省『五訂増補日本食品標準成分表』, 2005, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm), アクセス日: 2011年2月14日.
- [27] 村上正俊・吉田文和「農村地域における有機性資源需給バランスの定量分析 - 北海道 A 町における酪農経営と畑作経営の物質収支評価を事例として -」, 『廃棄物資源循環学会論文誌』 Vol.20, No.5, 2009, pp.279-290.
- [28] Müller-Lindenlauf, M., Deittert, C. and Köpke, U., “Assessment of environmental effects, animal welfare and milk quality among organic dairy farms,” *Livestock Science*, Vol.128, 2010, pp.140-148.

- [29] 永松美希『EUの有機アグリフードシステム』, 日本経済評論社, 2004.
- [30] 農業・食品産業技術総合研究機構『日本標準飼料成分表(2009年版)』, 中央畜産会, 2010.
- [31] 農林水産省『平成2年 畜産物生産費調査報告』, 農林統計協会, 1991.
- [32] 農林水産省『有機畜産物の日本農林規格』, 2006, [http://www.maff.go.jp/j/jas/jas\\_kikaku/pdf/youki\\_kikaku\\_d.pdf](http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/youki_kikaku_d.pdf), アクセス日: 2011年2月14日.
- [33] OECD, Environmental Indicators for Agriculture: Volume 1 Concepts and Framework, OECD Publications, 1999.
- [34] Ogino, A., Ishida, M., Ishikawa, T., Ikeguchi, A., Waki, M., Yokoyama, H., Tanaka, Y. and Hirooka, H., "Environmental impacts of a Japanese dairy farming system using whole-crop rice silage as evaluated by life cycle assessment," *Animal Science Journal*, Vol.79, 2008, pp.727-736.
- [35] Olesen, J.E., Schelde, K., Weiske, A., Weisbjerg, M.R., Asman, W.A.H. and Djurhuus, J., "Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.112, 2006, pp.207-220.
- [36] Ondersteijn, C.J.M., Beldman, A.C.G., Daatselaar, C.H.G., Giesen, G.W.J. and Huirne R.B.M., "The Dutch Mineral Accounting System and the European Nitrate Directive: implications for N and P management and farm performance," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.92, 2002, pp.283-296.
- [37] 尾和尚人「わが国の農作物の養分収支」, 『環境保全型農業研究連絡会ニュース』 No.33, 1996, pp.428-445.
- [38] Thomassen, M.A., Dolman, M.A., van Calker, K.J. and de Boer, I.J.M., "Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms," *Ecological Economics*, Vol.68, 2009, pp.2278-2284.
- [39] Thomassen, M.A., van Calker, K.J., Smits, M.C.J., Iepema, G.L. and de Boer, I.J.M., "Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands," *Agricultural Systems*, Vol.96, 2008, pp.95-107.
- [40] 東城清秀・木村緑・渡辺兼五「有機型牛乳生産システムの環境負荷に関する検討」, 『農作業研究』 Vol.41, No.3, 2006, pp.135-145.
- [41] 築城幹典・原田靖生「酪農経営における物質循環の定量的な把握に関する研究(1)窒素フロー量の推定」, 『システム農学』 Vol.12, No.2, 1996, pp.113-117.
- [42] 築城幹典・原田靖生「酪農経営における物質循環の定量的な把握に関する研究(2)リン、カリウムフロー量の推定」, 『システム農学』 Vol.13, No.1, 1997, pp.10-16.
- [43] 築城幹典・齋藤弘太郎・前田武己「酪農における環境影響の経年的変化のライフサイクルアセスメント」, 『システム農学』 Vol.25, No.4, 2009, pp.185-194.
- [44] Van Keulen, H., Aarts, H.F.M., Habekotté, B., van der Meer, H.G. and Spiertz, J.H.J.,

“Soil-plant-animal relations in nutrient cycling: the case of dairy farming system ‘De Marke’,”  
European Journal of Agronomy, No.13, 2000, pp.245-261.

- [45] Weller, R.F. and Bowling, P.J., “The Performance and Nutrient Use Efficiency of Two Contrasting Systems of Organic Milk Production,” *Biological Agriculture and Horticulture*, Vol.22, 2004, pp.261-270.
- [46] 山本康貴「有機畜産物に対する消費者評価に関する計量分析」,『畜産の情報（国内編）』 Vol.181, 2004, pp.16-24.
- [47] 山本康貴・増田清敬「家畜福祉に対する消費者イメージ - 有機牛乳に対する消費者アンケートの分析事例からみた一次接近 -」,『畜産の研究』 Vol.62, No.1, 2008, pp.153-158.