



Title	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
Author(s)	増田, 清敬; 宿野部, 猛
Citation	北海道大学農経論叢, 60, 161-168
Issue Date	2004-03
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/11259">http://hdl.handle.net/2115/11259</a>
Type	bulletin (article)
File Information	60_p161-168.pdf



[Instructions for use](#)

# 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—

増田 清敬・宿野 部 猛

## Analysis of Water Pollution of Dairy Farms Using Farm Gate Balance Approach of the Mineral Accounting System : The Case of Okoppe Feed Service in Hokkaido

Kiyotaka MASUDA and Takeshi SHUKUNOBE

### Summary

The purpose of this paper is to analyze water pollution of dairy farms using farm gate balance approach of the Mineral Accounting System. Dairy farms in Japan have increased the number of cows and lactation quantity using imported concentrated feed. This has caused environmental pollution of dairy farms, including water and air pollution etc. Among this pollution, water pollution especially draws attention, which is caused by mineral efflux from fertilizer and cow manure. Among mineral efflux, this paper focuses on the efflux of nitrogen and phosphorus in dairy farms. Since it is difficult to show the actual nitrogen and phosphorus flow in dairy farms, we assume that nitrogen and phosphorus surpluses are potential losses of the dairy system. The results of this paper are as follows. First, it is important to decreasing water pollution potential to increase quantity of milk production per unit of purchase feed. Second, the dairy farms, which have participated in Okoppe Feed Service, may have chances of decreasing water pollution potential.

### 1. 背景と課題

本稿の課題は、酪農環境汚染のうち、水質汚染に限定して、酪農経営における水質汚染問題を定量分析することである（註1）。

わが国酪農は、輸入濃厚飼料を基盤とした多頭化、高泌乳化を押し進めてきた。このゴールなき拡大の過程において、酪農環境汚染が発生した。すなわち、酪農の生産活動に起因する水質汚染や大気汚染等の環境問題である。このような酪農環境汚染のうち、水質汚染は、地域に対する環境影響が顕在化しやすいことから、最も注目されてきた酪農環境汚染の1つである。水質汚染は、農地への肥料の過剰投入や家畜ふん尿の不適切な管理等によって、窒素・リン等の環境汚染物質が酪農

経営近隣の河川に流出、または地下に浸透し、河川水や地下水を汚染することによって発生する。

本稿では、酪農環境汚染のうち、特に水質汚染に限定して分析したい。そこで、水質汚染の原因となる物質として、窒素・リンを分析対象に限定する。しかし、酪農経営における窒素・リンの現実の流出動態を明らかにすることは容易ではない。それゆえ、酪農経営を1つのシステムとして捉え、システム外から投入され、システム外へ産出される窒素・リンバランスから求められるそれらの余剰を潜在的な流出可能性、すなわち、水質汚染ポテンシャルとして仮定する（註2）。これは、オランダにおいて実施されているミネラル収支制度（Mineral Accounting System ; MINAS）と同様のファーム・ゲート・バランス（Farm Gate Bal-

ance) からの接近である(註3)。

なお、本稿では、北海道紋別郡興部町に位置し、詳細なデータが入手可能で調査協力が得られた有限会社オコッペフィードサービス(以下OFSとする)とその構成農家を事例として分析したい。OFSと構成農家は、酪農環境汚染が顕著であると思われる北海道の酪農専業地帯に位置しており、また、構成農家は、OFS参加によるメリットを活かして、多頭化、高泌乳化を押し進めている(荒木・田中〔2〕)。以上のことから、本稿で取り上げる事例は、酪農環境汚染における水質汚染の発生源として問題となっている可能性が高く、本稿の分析にとって、妥当な事例であると考えられる。

## 2. データ及び分析方法

### 1) 分析対象の概要

分析対象は、酪農専業地帯である北海道紋別郡興部町に位置する有限会社OFSとOFSを構成する8戸の酪農経営である(註4)。分析対象年は、2001年である。本稿では、OFSと構成農家を1つの酪農経営システムとして捉える。

OFSは、1998年に酪農経営5戸を構成農家とする自給粗飼料生産組合として設立され、1999年

に有限会社化した飼料生産協業組織である(註5)。図1は、OFSの機能図である。OFSは、全構成農家の放牧地以外の農地全てを借り上げて、農地管理から収穫、調製作業、家畜ふん尿の農地への還元等の農地に係わる一切の作業から、収穫されたサイレージと購入飼料によるTMR(混合飼料)の調製、宅配までを行っている。農作業機械は、OFSが所有するか、各構成農家が所有するトラクターや作業機を一括して借り受けている。また、近隣の酪農経営に対し、牧草及びデントコーン収穫の受託作業も行っている。

分析対象年における構成農家は、繋ぎ飼ひ・パイプラインミルク方式7戸、フリーストール・ミルクングパーラー方式1戸の計8戸からなり、全体では、総飼養頭数935頭(乳用牛835頭、肉用牛100頭)、総経営耕地面積411.9ha(草地361.6ha、飼料畑37.8ha、放牧地12.5ha)であった。

### 2) 分析モデル

OFSと構成農家における窒素・リンバランスを定量化するにあたり、図2のような分析モデルを仮定する(註6)。

窒素・リンの投入として、①導入牛、②購入飼料・敷料、③購入肥料(家畜ふん尿に由来しない

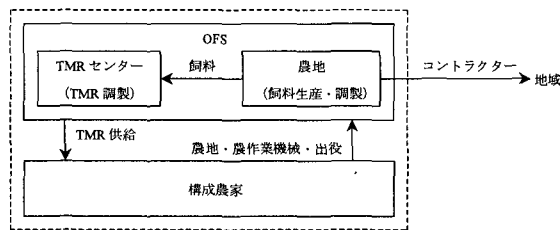


図1 OFSの機能図

註：荒木・田中〔2〕を参考に作成した。

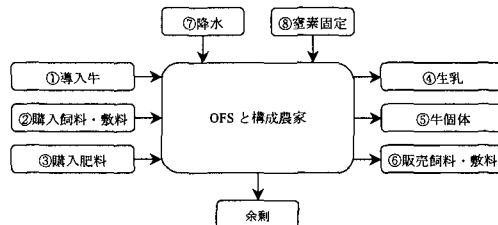


図2 本稿における窒素・リンバランスの分析モデル

註：Aarts *et al.*〔1〕等を参考に作成した。

表1 OFS と構成農家のデータ

投入		
導入牛	初妊牛	19頭
購入飼料	OFS と構成農家購入分 (現物)	2,621 t
購入敷料	オガクズ	840 m <sup>3</sup>
購入肥料	窒素成分量	1,476 kgN
	リン成分量	2,945 kgP
産出		
生乳	乳脂率4%換算	4,218 t
牛個体	経産牛	184頭
	ホル・F1初生牛	267頭
	初妊牛	6頭
	肉用牛	25頭
	死廃牛	61頭
	販売飼料・敷料	乾草ロール
	ロールペール	132個
	青草販売	3.9ha

出所：OFS 資料より作成。

化学・有機質肥料), ⑦降水, ⑧窒素固定 (窒素のみ), 産出として, ④生乳, ⑤牛個体 (販売個体・死廃牛), ⑥販売飼料・敷料を考える (註7)。これらの投入と産出の差が, 酪農経営における窒素・リン余剰であると仮定すると, 窒素・リン余剰は以下の2式で示される。

$$\text{窒素余剰} = \text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{⑦} + \text{⑧} - \text{④} - \text{⑤} - \text{⑥} \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{リン余剰} = \text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{⑦} - \text{④} - \text{⑤} - \text{⑥} \quad \dots\dots(2)$$

また, OFS と構成農家への窒素・リン投入量に対する OFS と構成農家からの窒素・リン産出量が窒素・リン効率であると仮定すると, 窒素・リン効率は, 以下の2式で示される。

$$\text{窒素効率} = \frac{\text{④} + \text{⑤} + \text{⑥}}{\text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{⑦} + \text{⑧}} \quad \dots\dots(3)$$

$$\text{リン効率} = \frac{\text{④} + \text{⑤} + \text{⑥}}{\text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{⑦}} \quad \dots\dots(4)$$

本稿では, 以上の分析モデルに基づいて, OFS と構成農家における窒素・リンバランスを定量化した。なお, 水質汚染ポテンシャルの指標は, 以上の4式から求められる1ha当たり余剰窒素・リン量と窒素・リン効率である。

### 3) データ

分析モデルに従って, 分析対象年における OFS と構成農家のデータを収集した (表1)。

システム外からの投入では, 導入牛, 購入飼料, 購入敷料, 購入肥料があった。導入牛は, 初妊牛19頭であった。購入飼料は, 現物で2,621tであった。購入敷料は, オガクズ840m<sup>3</sup>であった。購入肥料は, 窒素成分量1,476kgN, リン成分量2,945kgPであった。

システム外への産出では, 生乳, 牛個体, 販売飼料・敷料があった。生乳は, 乳脂率4%換算で4,218tであった。牛個体は, 経産牛184頭, ホル・F1初生牛267頭, 初妊牛6頭, 肉用牛25頭 (その他, 死廃牛61頭)であった。販売飼料・敷料は, 乾草ロール123個, ロールペール132個, 青草販売3.9haであった。

### 4) 計測方法

#### ① 導入牛

導入牛の窒素・リン量は, 導入牛体重に牛個体の窒素・リン含有率を乗じて求めた。ただし, 導入牛体重は, 初妊牛540kgと仮定し (並河他 [10]), 牛個体の窒素・リン含有率は, 窒素含有率3.04%, リン含有率1.0%と仮定した (田先監修 [15])。

#### ② 購入飼料・敷料

購入飼料・敷料の窒素・リン量は、OFSが構成農家に配送したTMR中の購入飼料配送量と構成農家が個別に購入した購入飼料・敷料購入量に各飼料・敷料の窒素・リン含有率を乗じて求めた。ただし、各飼料・敷料の窒素・リン含有率は、各成分値を用いた。

#### ③ 購入肥料

購入肥料の窒素・リン量は、OFSが購入した購入肥料購入量に各肥料の窒素・リン含有率を乗じて求めた。ただし、各肥料の窒素・リン含有率は、各成分値を用いた。なお、構成農家における購入肥料は、家庭用の野菜、花卉等の肥料であるので除外した。

#### ④ 生乳

生乳の窒素・リン量は、構成農家の生乳生産量に生乳の窒素・リン含有率を乗じて求めた。ただし、生乳の窒素含有率は、生乳成分値を用い、リン含有率は、乳脂率3.7%でリン含有率0.091%と仮定し(科学技術振興機構〔7〕)、乳脂率換算で補正したものをを用いた。

#### ⑤ 牛個体

牛個体の窒素・リン量は、牛個体体重に牛個体の窒素・リン含有率を乗じて求めた。ただし、牛個体体重は、経産牛及び死廃牛650kg、ホル・F1初生牛40kg、初妊牛540kg(並河他〔10〕)、肉用牛320kg(OFS資料)と仮定し、牛個体の窒素・リン含有率は、①導入牛と同じものを用いた。なお、死廃牛は、経産牛と同等と仮定した。

#### ⑥ 販売飼料・敷料

販売飼料・敷料の窒素・リン量は、OFSの2001年産牧草における販売飼料・敷料販売量に各飼料・敷料の窒素・リン含有率を乗じて求めた。ただし、ロールはいずれも1個当たり400kg、青草販売分はロールバール収穫と仮定し(OFS資料)、各飼料・敷料の窒素・リン含有率は、各成分値を用いた。なお、構成農家における販売飼料はなく、販売敷料は、構成農家間における敷料の融通があったが、システム外に販売されたものはなかったもので除外した。

#### ⑦ 降水

降水の窒素・リン量は、降水の窒素・リン成分値に分析対象年の興部町年間降水量と総経営耕地面積を乗じて求めた。ただし、降雪中窒素量1.01

mgN/L, 降雪中窒素量1.09mgN/L, 降雨中リン量0.013mgP/L, 降雪中リン量0.067mgP/Lと仮定し(大村〔13〕)、降雨期間は4~11月, 降雪期間は1~3, 12月と仮定した。興部町年間降水量は、気象庁〔8〕から引用した。

#### ⑧ 窒素固定

窒素固定の窒素量は、マメ科牧草作付面積に単位面積当たりの窒素固定量を乗じて求めた。ただし、経営耕地における飼料畑を除いた草地と放牧地は、全てイネ科牧草とマメ科牧草の混播であるので、マメ科牧草作付面積を374.1haとし、窒素固定量を14.0kgN/10a/年と仮定した(高橋他〔14〕)。

### 3. 分析結果と考察

OFSと構成農家における窒素・リンバランスの計測結果を図3,4に示した。図3から、分析対象年におけるOFSと構成農家における窒素バランスは、総投入窒素量128,671kgN/年, 総産出窒素量28,009kgN/年, 余剰窒素量100,663kgN/年, 1ha当たり余剰窒素量244kgN/ha/年, 窒素効率22%であった(註8)。同様に図4から、リンバランスは、総投入リン量15,418kgP/年, 総産出リン量6,236kgP/年, 余剰リン量9,181kgP/年, 1ha当たり余剰リン量22kgP/ha/年, リン効率40%であった。

また、表2に本稿の計測結果と既存研究との比較を示した。既存研究には、MINASが実施されているオランダの事例として、本稿と同様に窒素・リンを分析対象とし、商業農場と実験農場(註9)を比較した代表的な研究であるAarts *et al.*〔1〕を引用した。Aarts *et al.*〔1〕は、実験農場の方が商業農場よりも窒素・リン余剰が低いことを明らかにした。以下では、本稿の計測結果とAarts *et al.*〔1〕の商業農場と実験農場の計測結果を比較しながら考察する。

第1に、本稿の計測結果の投入において、窒素では、購入飼料が54%、窒素固定が41%を占め、リンでは、購入飼料が79%、購入肥料が19%を占めていた。窒素・リンの両方とも、最も大きな割合を占めているのは、購入飼料であった。これは、Aarts *et al.*〔1〕の商業農場において、窒素では60%、リンでは57%と、購入肥料が最も大きな

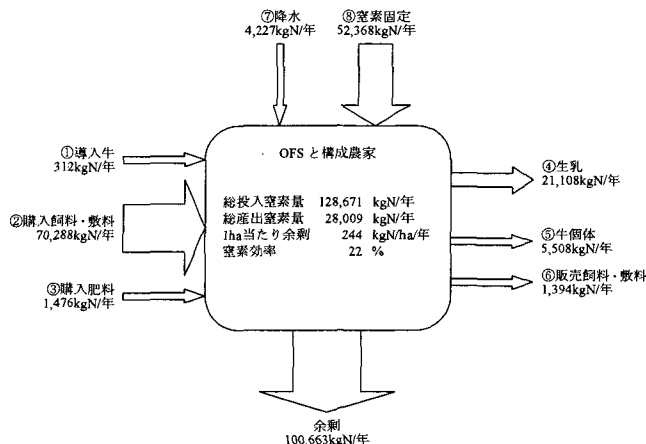


図3 窒素バランスの計測結果

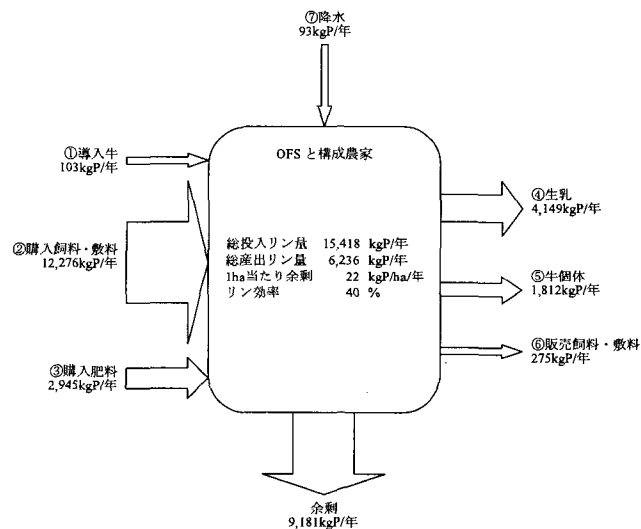


図4 リンバランスの計測結果

割合を占めていることと対照的である。

また、本稿の計測結果では、1 ha 当たりの購入肥料投入量は、窒素・リンの両方とも、Aarts *et al.* [1] の商業農場に比べて極めて低かった。そして、本稿の計測結果における窒素では、窒素固定が購入肥料よりも35倍以上の投入量であった。以上のことから、OFSと構成農家は、Aarts *et al.* [1] の商業農場のように購入肥料に依存した施肥体系ではなく、家畜ふん尿による自給肥料と窒素固定に依存した施肥体系であると考えられる。

第2に、本稿の計測結果の産出において、窒素では、生乳が75%、牛個体が20%を占め、リンで

は、生乳が67%、牛個体が29%を占めていた。窒素・リンの両方とも、酪農経営の主産物である生乳が、最も大きな割合を占めていた。これは、Aarts *et al.* [1] の商業農場、実験農場と同様であった。

第3に、本稿の計測結果の1 ha 当たり余剰窒素・リン量と窒素・リン効率において、これらは、既存研究の商業農場と実験農場の間にあった(註10)。相対的にみて、Aarts *et al.* [1] の商業農場では、購入飼料と購入肥料がともに高投入であり、実験農場では、購入飼料と購入肥料がともに低投入であった。これらに対し、本稿の計測結果

表2 本稿の計測結果と既存研究との比較

単位：kg/ha/年

	Aarts <i>et al.</i> [1]				本稿	
	商業農場		実験農場		OFSと構成農家	
	N	P	N	P	N	P
投入						
総投入量	485.5	53.9	226.3	15.7	312.4	37.4
うち購入飼料	145.0	22.5	95.7	13.9	170.0	29.7
うち購入肥料	291.5	30.5	68.9	0.0	3.6	7.2
産出						
総産出量	78.2	14.6	73.1	13.2	68.0	15.1
うち生乳	64.2	10.5	64.2	10.5	51.2	10.1
うち牛個体	14.0	4.1	8.9	2.7	13.4	4.4
余剰（総投入量－総産出量）	407.3	39.3	153.2	2.5	244.4	22.3
効率（総産出量／総投入量）	16%	27%	32%	84%	22%	40%
購入飼料利用率（生乳／購入飼料）	44%	47%	67%	76%	30%	34%
購入肥料利用率（生乳／購入肥料）	22%	34%	93%	-	1,430%	141%

出所：Aarts *et al.* [1] より作成。註：総投入量，購入飼料，購入肥料，総産出量，生乳，牛個体は，Aarts *et al.* [1] 及び本稿の計測結果における該当項目を集計したものである。

では，購入飼料は高投入であるが，窒素固定分を考慮したとしても，購入肥料は低投入であった。

それでは，本稿の事例である OFS と構成農家において，どのようなことが水質汚染ポテンシャルを減少させる際に重要となるだろうか。水質汚染ポテンシャルの減少とは，すなわち，1 ha 当たり余剰窒素・リン量を減少させ，窒素・リン効率を上昇させることである。

ここで，購入飼料利用率と購入肥料利用率をみてみよう。これらの利用率は，システム外から投入された購入飼料または購入肥料の窒素・リン量が，酪農経営の主産物である生乳の窒素・リン量にどの程度反映されたのかを示す指標である。

Aarts *et al.* [1] の商業農場と実験農場を比較すると，1 ha 当たり余剰窒素・リン量が低く，窒素・リン効率が高い実験農場の方が，商業農場よりも購入飼料利用率と購入肥料利用率が高いことがわかる。つまり，購入飼料利用率と購入肥料利用率の上昇が，水質汚染ポテンシャルの減少に繋がると考えられる。

本稿の計測結果を検討すると，OFS と構成農家では，元々購入肥料への依存が低く，購入肥料利用率は非常に高い水準にあった。ここで，購入肥料利用率をさらに上昇させることは困難である

と考えられる。一方，購入飼料利用率は，Aarts *et al.* [1] の商業農場と実験農場のいずれと比較しても低い水準にあった。よって，OFS と構成農家では，これ以上の上昇を見込むことが難しい購入肥料利用率よりも，低い水準にある購入飼料利用率を上昇させることが，水質汚染ポテンシャルを減少させることにおいて重要であると考えられる。これは，すなわち，購入飼料投入1単位当たりの生乳生産量を増加させることである。

また，OFS の機能から以上の点を考察する。荒木・田中 [2] は，構成農家の OFS 参加のメリットとして，基礎飼料の安定供給による乳量の増産と乳成分の向上，飼料給与時間の大幅な減少による飼養管理の向上等を指摘している。これらのことは，購入飼料利用率の向上に繋がる可能性がある。本稿の分析は単年度であり，本稿の分析のみで言及することは難しいが，荒木・田中 [2] の分析とともに検討すると，構成農家の OFS 参加のメリットによって，購入飼料利用率の向上，引いては，水質汚染ポテンシャルの減少に繋がる可能性が示唆される。

#### 4. まとめ

水質汚染は，地域に対する環境影響が顕在化し

やすいことから、最も注目されてきた酪農環境汚染の1つである。本稿では、酪農環境汚染のうち、特に水質汚染に限定して分析した。本稿では、酪農経営を1つのシステムとして捉え、システム外から投入され、システム外へ産出される窒素・リンバランスから求められるそれらの余剰を潜在的な流出可能性、すなわち、水質汚染ポテンシャルとして仮定した。そして、OFSとその構成農家を事例として、窒素・リンバランスを定量化した。

分析結果を既存研究との比較を通じて考察した。既存研究から、購入飼料利用率と購入肥料利用率の上昇が、水質汚染ポテンシャルの減少に繋がると考えられた。本稿の事例であるOFSと構成農家では、1ha当たり購入肥料投入量が非常に低く、購入肥料利用率は非常に高い水準にあった。逆に、購入飼料利用率は、既存研究と比較しても低い水準にあった。それゆえ、OFSと構成農家では、購入肥料利用率を上昇させるよりも購入飼料利用率の上昇、すなわち、購入飼料投入1単位当たりの生乳生産量を増加させることが、水質汚染ポテンシャルを減少させることにおいて重要であることが明らかになった。また、荒木・田中〔2〕から明らかになる構成農家のOFS参加のメリットによって、購入飼料利用率の向上、引いては、水質汚染ポテンシャルの減少に繋がる可能性が示唆された。

## 付記

本稿の執筆にあたり、有限会社オコッペフィードサービス及びオコッペフィードサービス構成員の方々から調査へのご協力並びに多くのデータのご提供を頂いた。記して謝意を表したい。

## 註

(註1) 本稿は、増田他〔9〕で把握し切れなかった水質汚染ポテンシャルを分析するものである。また、出口〔4〕は、1999年のOFS(後述)を事例として窒素フロー分析を行っており、本稿の事例の先行研究である。

(註2) このような既存研究として、海外では、Aarts *et al.*〔1〕, Dalgaard, Halberg and Kristensen〔3〕, Halberg, Kristensen and Kristensen〔5〕, Ondersteijn *et al.*〔12〕, Van Keulen *et al.*〔16〕等、多くの研究が行われている。わが国で

は、干場他〔6〕等がある。

(註3) 1998年から導入されたオランダのMINASは、農場外からの投入としての窒素・リン(リン酸塩)と農場外への産出としての窒素・リン(リン酸塩)を記録することを義務付けた制度である。投入としては、化学・有機肥料、濃厚・粗飼料、種子、家畜等があり、産出としては、農産物、家畜ふん尿等がある。農場内部の循環で家畜ふん尿を農地に施用し、生産された自給飼料を家畜に投入する部分は、ブラックボックスとして扱うので考慮していない。なお、投入量と産出量の差(余剰)をミネラル亡失量と呼び、環境への負荷とみなしている。この亡失量には許容上限値として亡失基準量が設定されており、亡失量がこれを上回った場合、農場は課徴金を支払わなければならない(西澤〔11〕, Ondersteijn *et al.*〔12〕)。

(註4) 8戸の構成農家のうち、1戸は乳肉複合経営であるが、本稿では、便宜上酪農経営として扱う。また、構成農家の中には、2002年1月に正式加入した酪農経営が含まれている。ただし、この酪農経営は、2001年の時点でOFSに農地の貸し付けを行い、一部飼料の供給をOFSから受けており、実質的な構成農家であった。それゆえ、本稿では、この酪農経営をOFSの構成農家として扱う。

(註5) 地域農業の担い手としてのOFSに関する分析は、荒木・田中〔2〕に詳しい。

(註6) 本稿の分析モデルは、Aarts *et al.*〔1〕等を参考に設定した。

(註7) 図2に示した投入と産出の他に、投入として、購入種子、購入肥料(家畜ふん尿由来)、産出として、販売肥料(家畜ふん尿由来)が考えられる。ただし、購入肥料(家畜ふん尿由来)と販売肥料(家畜ふん尿由来)は、OFSと構成農家において確認できず、購入種子は、全体に対して大きな影響を与えないと考えられることから省略する。

(註8) 窒素には、家畜ふん尿等からのアンモニアや亜酸化窒素等の揮散による損失が存在する。分析対象年におけるOFSと構成農家では、アンモニア9.8t-NH<sub>3</sub>、亜酸化窒素4.4t-N<sub>2</sub>Oが揮散したと推定されている(増田他〔9〕)。

(註9) 'De Marke'と呼ばれる実験農場は、地下水水質を高品質にすることを目的とした酪農のプロトタイプシステムを実施している。実験農場は、商業農場と比較して、化学肥料、購入飼料等の外部資源投入量の減少、飼養密度の低下、コーン作付比率の増加等を行い、その上で個体乳量の増加を図っている(Aarts *et al.*〔1〕)。

(註10) 1ha当たり余剰窒素・リン量は、面積当たり



で求めているので、経営耕地面積の大小でその結果が大きく変動する可能性がある。

引用文献

- [1] Aarts, H. F. M., B. Habekotté, G. J. Hilhorst, G. J. Koskamp, F. C. van der Schans and C. K. de Vries, "Efficient resource management in dairy farming on sandy soils," *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Vol. 47, 1999, pp. 153~167.
- [2] 荒木和秋・田中義人「飼料生産・TMR製造協業による農場制農業への取り組み」『農—英知と進歩—』第259号, 2001, pp. 2~41.
- [3] Dalgaard, T., N. Halberg and I. S. Kristensen, "Can organic farming help to reduce N-losses?," *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 52, No. 2-3, 1998, pp. 277~287.
- [4] 出口真隆「酪農経営における窒素フローと環境保全対策に関する実証分析—オコッペフィードサービスを事例として—」, 北海道大学大学院農学研究科修士論文, 2001.
- [5] Halberg, N., E. S. Kristensen and I. S. Kristensen, "Nitrogen turnover on organic and conventional mixed farms," *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Vol. 8, No. 1, 1995, pp. 30~51.
- [6] 干場信司・河上博美・森田茂・野田哲治・池口厚男「酪農生産システムの複合的評価指標の提案—経営的収益性・窒素負荷量・投入化石エネルギーによる総合的評価—」『農業施設』第32巻第3号, 2001, pp. 129~134.
- [7] 科学技術振興機構「食品成分データベース」.  
(Available at <http://food.tokyo.jst.go.jp/>).
- [8] 気象庁「きのうまでの気象観測データ」.  
(Available at <http://www.data.kishou.go.jp/>).
- [9] 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.
- [10] 並河澄・大森昭一朗・米倉久雄・吉本正・内海恭三・新井肇『農学基礎セミナー 家畜飼育の基礎』, 農山漁村文化協会, 2000.
- [11] 西澤栄一郎「オランダにおける家畜糞尿政策の展開」『2003年度日本農業経済学会論文集』, 2003, pp. 496~501.
- [12] Ondersteijn, C. J. M., A. C. G. Beldman, C. H. G. Daatselaar, G. W. J. Giesen and R. B. M. Huirne, "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, No. 2-3, 2002, pp. 283~296.
- [13] 大村邦男「北海道の畑作・酪農地帯における物質循環と水質保全」『北海道立農業試験場報告』第86号, 1995, pp. 1~63.
- [14] 高橋英一・谷田沢道彦・大平幸次・原田登五郎・山田芳雄・田中明「作物栄養学」, 朝倉書店, 1969.
- [15] 田先威和夫監修『新編畜産大事典』, 養賢堂, 1996.
- [16] Van Keulen, H., H. F. M. Aarts, B. Habekotté, H. G. van der Meer and J. H. J. Spiertz, "Soil-plant-animal relations in nutrient cycling: the case of dairy farming system 'De Marke'," *European Journal of Agronomy*, Vol. 13, No. 2-3, 2000, pp. 245~261.