HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	有機酪農経営と慣行酪農経営の環境影響比較に関する定量分析 ： ファーム・ゲート・バランス分析からの接近
Author(s)	吉田, 裕介; 増田, 清敬; 山本, 康貴
Citation	北海道大学農經論叢, 69, 13-18
Issue Date	2014-04-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57356
Type	departmental bulletin paper
File Information	13-18.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

農経論叢　Vol. 69（2014）Apr. pp. 13－18
The Review of Agricultural Economics

有機酪農経営と慣行酪農経営の環境影響比較に関する定量分析

―ファーム・ゲート・バランス分析からの接近―

吉　田　裕　介・増　田　清　敬・山　本　康　貴

A Quantitative Analysis of Environmental Impact between Organic and Conventional Dairy Farming: Using Farm Gate Balance

Yusuke YOSHIDA, Kiyotaka MASUDA, and Yasutaka YAMAMOTO

Summary

The objective of this paper is to compare the environmental performance of conventional and organic dairy farming in Japan. We made comparisons between conventional and organic dairy farming at the farm level in terms of nitrogen and phosphorus surplus per hectare of farmland. To estimate the environmental loads associated with the application of nitrogen and phosphorus, we used the farm gate balance, which measured the difference between the nutrient content of farm inputs and the nutrient content of farm outputs. Five organic dairy farms in region A in Japan were analyzed in the present paper. They acquired the certification for organic roughage production in 2004 and started to produce certified organic milk in 2006. The results of the present paper are as follows. First, the nitrogen surplus per ha of the organic dairy farming system was lower than that of the conventional dairy farming system. Second, the phosphorus surplus per ha of the organic dairy farming system was higher than that of the conventional dairy farming system.

１．はじめに

本論文の目的は，有機酪農経営と慣行酪農経営の環境影響を比較することである．具体的には，環境への負荷の原因となる物質として，窒素およびリンを分析対象に限定し，有機酪農経営の農地面積1ha当たり余剰窒素量と余剰リン量をファーム・ゲート・バランスを用いて計測する．分析対象事例とする有機酪農経営は，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．比較対象は国内の慣行酪農経営に関する既存研究とする．

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 2012）．

日本では，有機酪農に関連した環境影響評価の既存研究として，東城他（2006），Masuda and Yamamoto（2013）がある．東城他（2006）の研究は，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．Masuda and Yamamoto（2013）の研究は，本論文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．

2．分析方法とデータ

1）分析の基本枠組みと分析対象事例の概況

本論文では，余剰窒素量および余剰リン量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量から，システム外へ産出される生産物などに含まれる物質量を差し引くことで，システム内において余剰となる物質量を定量化する方法である．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影響のポテンシャル指標（註１）として位置づけることは，OECD（1999）でも紹介されている．また実際の分析利用例として，日本では増田・宿野部（2004），増田他（2005），村山他（2002），佐々木他（2004）などがある．

本論文では，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．事例対象の有機酪農経営は，2004年に有機粗飼料生産の認証を取得し，2006年に有機認証牛乳の生産を開始した．また，事例対象の有機酪農経営では，麦稈との交換のために経営外に持ち出される分を除いた，堆肥の全量が飼料生産に利用されており，堆肥を農地へ還元することで，自然循環機能の維持増進を図っている．

本論文では，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．本論文では，ある時点における有機酪農システムの余剰窒素・リン量を同時に分析している．そのため，本分析対象事例における有機酪農の比較対象は，本論文と同様に，ある時点における慣行酪農システムの余剰窒素・リン量を同時に分析している，築城・原田（1996，1997）の分析結果を引用する．

築城・原田（1996，1997）は，牛乳生産費調査の個票に基づいて，A地域酪農経営における窒素・リンのフロー量を推定した．本論文では，築城・原田（1996，1997）による窒素・リンのフロー量推計結果を，ファーム・ゲート・バランスに基づいて再集計し，余剰窒素・リン量を求める．

築城・原田（1996，1997）における最新の分析年である1990年の分析結果と本分析結果が比較される．1990年は，本論文の分析年と比べると古い．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（農林水産省 1991）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．

第１表は，分析対象事例および比較対象の概況である．有機酪農は５戸の酪農経営で構成されており，分析年2007年，５戸の乳牛飼養頭数合計387頭，５戸の農地面積合計206.3ha（採草地99.6ha，放牧・兼用地53.1ha，飼料畑53.6ha）である．慣行酪農は，分析年1990年，１戸当たり乳牛飼養頭数63頭，１戸当たり農地面積34.0haである．

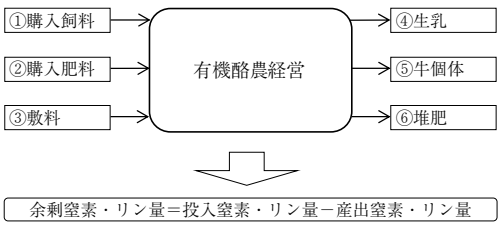
第１表　分析対象事例および比較対象の概況

区分	有機酪農	慣行酪農
分析年	2007	1990
乳牛飼養頭数（頭）	387	63
農地面積（ha）	206.3	34.0

註：１）慣行酪農は築城・原田（1996）より作成した．
：２）乳牛飼養頭数および農地面積は，有機認証を受けたもののみで，転換期間中のものを含まない．

2）ファーム・ゲート・バランスの分析モデル

第１図は，本論文におけるファーム・ゲート・バランスの分析モデルである．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．酪農経営において余剰となる窒素・リン量は，①②③により投入される窒素・リン量から，④⑤⑥により産出される窒素・リン量を差し引くことで計算した．



第１図　ファーム･ゲート･バランスの分析モデル

3）データの収集

第２表は，有機酪農システムにおける投入・産出データである（註２）．有機酪農システム外からの投入データは，①購入飼料（乾物量，窒素量，

第2表　有機酪農システムにおける投入・産出データ

区分	投入・産出量
投　入	
①購入飼料	
乾物量（t-乾物/年）	417
窒素量（kgN/年）	16,342
リン量（kgP/年）	2,445
②購入肥料	
原物量（t-原物/年）	294
窒素量（kgN/年）	10,057
リン量（kgP/年）	7,828
③敷　料	
原物量（t-原物/年）	238
窒素量（kgN/年）	1,024
リン量（kgP/年）	125
産　出	
④生　乳	
原物量（t-原物/年）	1,429
⑤牛個体	
牛個体頭数（頭/年）	174
うち経産牛（頭/年）	39
うち初生牛（頭/年）	109
うち育成牛（頭/年）	26
⑥堆　肥	
原物量（t-原物/年）	650

註：有機酪農経営資料，聞き取り調査より作成した．

リン量），②購入肥料（原物量，窒素量，リン量），③敷料（原物量，窒素量，リン量）を計上した．有機酪農システム外への産出データは，④生乳（原物量），⑤牛個体（経産牛，初生牛，育成牛），⑥堆肥（原物量）を計上した．

購入飼料量および購入肥料量は，有機酪農経営グループにおける年間の購入量を集計した．また，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．敷料のうち，有機酪農経営グループが自作する敷料量は，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敷料量は，有機酪農経営グループから聞き取った値を用いた．生乳出荷量は，有機酪農経営グループにおける年間の出荷量を集計した．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．堆肥産出量は，麦稈との交換でシステム外へ持ち出される堆肥産出量を集計した．

第3表は，収集した各資材の投入・産出量から，窒素およびリンの投入・産出量を推計するために用いた，各資材の窒素・リン含有率である．購入飼料および購入肥料の窒素・リン含有率は，それぞれ飼料メーカー，肥料メーカーからデータを収集した．敷料の窒素・リン含有率は，尾和（1996）からデータを収集した．乳たんぱく質率は有機酪農経営資料を用いた．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（2010）を用いた．牛個体の窒素含有率はMaynard et al.（1979），リン含有率はMcDonald et al.（2011）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堆肥成分データを用いた．

4）投入窒素・リン量および産出窒素・リン量の計測

購入飼料および購入肥料の投入窒素・リン量は，銘柄別の購入飼料および購入肥料に，それぞれの窒素・リン含有率を乗じて求めた．

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した麦稈量，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．

生乳の産出窒素量は，生乳出荷量に乳たんぱく質率を乗じた後，乳たんぱく質中の窒素含量を算出するために換算係数0.16を乗じて求めた．生乳の産出リン量は，生乳出荷量に生乳のリン含有率を乗じて求めた．

牛個体の産出窒素・リン量は，牛個体販売頭数

第3表　有機酪農システムにおける窒素・リン含有率

区分	窒素	リン	資料	備考
投入				
①購入飼料	5.5%	0.7%	飼料メーカー資料	乾物ベース，濃厚飼料の平均値
②購入肥料	3.3%	3.6%	肥料メーカー資料	原物ベース，平均値
③敷　料	0.4%	0.1%	尾和（1996）	原物ベース
産出				
④生　乳	0.5%	0.1%	有機酪農経営資料，文部科学省（2010）	原物ベース
⑤牛個体	3.0%	1.0%	Maynard et al.（1979），McDonald et al.（2011）	原物ベース
⑥堆　肥	0.2%	0.1%	有機酪農経営資料	原物ベース

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．牛個体体重は北海道農政部（2013）を用いた．

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，堆肥の窒素・リン含有率を乗じて求めた．

3．分析結果と考察

1）農地面積1ha当たり余剰窒素量の推計結果

第4表は，農地面積1ha当たり余剰窒素量の推計結果である．農地面積1ha当たり余剰窒素量は，有機酪農が87.8kgN/ha/年，慣行酪農が103.6kgN/ha/年であった．慣行酪農の農地面積1ha当たり余剰窒素量は，有機酪農より15.8kgN/ha/年（18.0%）多いことが明らかになった．

農地面積1ha当たり投入窒素量は，有機酪農が132.9kgN/ha/年，慣行酪農が162.7kgN/ha/年で，慣行酪農が有機酪農よりも29.8kgN/ha/年（22.4%）多い．また，農地面積1ha当たり産出窒素量は，有機酪農が45.2kgN/ha/年，慣行酪農が59.1kgN/ha/年で，慣行酪農が有機酪農よりも14.0kgN/ha/年（30.9%）多い．

投入窒素量の内訳をみると，有機・慣行酪農の両方において，購入飼料による投入窒素量が最大だった．慣行酪農は，購入飼料による投入窒素量が有機酪農より12.2kgN/ha/年（15.4%）多い．有機酪農は自給飼料を中心とした生乳生産を行っているため，購入飼料による投入窒素量が慣行酪農より少ないと推察される（註3）．

産出窒素量の内訳をみると，有機・慣行酪農の両方において，生乳による産出窒素量が最大だった．慣行酪農は，購入飼料による投入窒素量が有機酪農より多いため，生乳による産出窒素量も有機酪農より4.1kgN/ha/年（12.0%）多い．

第4表　農地面積1ha当たり余剰窒素量の推計結果

（単位：kgN/ha/年）

区分	有機酪農	慣行酪農	
投入窒素量（N_I）	132.9	162.7	(122.4)
①購入飼料	79.2	91.4	(115.4)
②購入肥料	48.8	68.3	(140.1)
③敷　料	5.0	3.0	(61.0)
産出窒素量（N_O）	45.2	59.1	(130.9)
④生乳	34.1	38.2	(112.0)
⑤牛個体	6.0	11.1	(183.7)
⑥堆　肥	5.0	9.9	(196.0)
余剰窒素量（N_I-N_O）	87.8	103.6	(118.0)

註：1）慣行酪農は築城・原田（1996）より作成した．
：2）括弧内の数値は，有機酪農の値を100としたときの慣行酪農の値である．
：3）各項目の数値は小数点第2位で丸めたため，各項目の合計が投入・産出窒素量に一致しない場合がある．

2）農地面積1ha当たり余剰リン量の推計結果

第5表は，農地面積1ha当たり余剰リン量の推計結果である．農地面積1ha当たり余剰リン量は，有機酪農が40.6kgP/ha/年，慣行酪農が30.9kgP/ha/年であった．慣行酪農の余剰リン量は，有機酪農より9.7kgP/ha/年（23.9%）少ないことが明らかになった．

農地面積1ha当たり投入リン量は，有機酪農が50.4kgP/ha/年，慣行酪農が41.8kgP/ha/年で，慣行酪農が有機酪農よりも8.6kgP/ha/年（17.1%）少ない．また，農地面積1ha当たり産出リン量は，有機酪農が9.8kgP/ha/年，慣行酪農が10.9kgP/ha/年で，慣行酪農が有機酪農よりも1.1kgP/ha/年（11.0%）多い．

投入リン量の内訳をみると，有機・慣行酪農の両方において，購入肥料による投入リン量が最大だった．慣行酪農は，購入肥料による投入リン量が有機酪農より8.7kgP/ha/年（22.9%）少ない．

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，購入肥料による農地面積1ha当たり投入リン量について，有機酪農が慣行酪農より多くなった要因の1つと推察される．

産出リン量の内訳をみると，有機・慣行酪農の

第5表　農地面積1ha当たり余剰リン量の推計結果

（単位：kgP/ha/年）

区　分	有機酪農	慣行酪農	
投入リン量（P_I）	50.4	41.8	(82.9)
①購入飼料	11.9	12.1	(102.2)
②購入肥料	38.0	29.3	(77.1)
③敷　料	0.6	0.4	(68.1)
産出リン量（P_O）	9.8	10.9	(111.0)
④生　乳	6.3	6.3	(100.3)
⑤牛個体	2.0	3.3	(165.9)
⑥堆　肥	1.5	1.3	(83.6)
余剰リン量（P_I-P_O）	40.6	30.9	(76.1)

註：1）慣行酪農は築城・原田（1997）より作成した．
：2）括弧内の数値は，有機酪農の値を100としたときの慣行酪農の値である．
：3）各項目の数値は小数点第2位で丸めたため，各項目の合計が投入・産出リン量に一致しない場合がある．

両方において，生乳による産出リン量が最大だった．

4．結　論

本論文の目的は，有機酪農経営と慣行酪農経営の環境影響を比較することであった．具体的には，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を分析対象とし，農地面積１ha当たり余剰窒素量と余剰リン量をファーム・ゲート・バランスを用いて計測し，既存研究と比較した．

分析の結果，以下の点が明らかになった．

第一に，本論文で推計された有機酪農の農地面積１ha当たり余剰窒素量は，既存研究で推計された慣行酪農の結果よりも少なかった．第二に，本論文で推計された有機酪農の農地面積１ha当たり余剰リン量は，既存研究で推計された慣行酪農の結果よりも多かった．

以上のように，本論文では，有機畜産物のJAS規格認証を受けた生乳生産を行う有機酪農経営について，生乳生産を含めた有機酪農経営全体を分析対象とした，農地面積１ha当たり余剰窒素量と余剰リン量の推計結果を示すことができた．

とはいえ，日本において，慣行酪農と有機酪農の環境影響比較に関する実証研究は，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二つ指摘して，結びとしたい．第一に，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．第二に，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．

付記

本論文は，ALIC平成22年度畜産物需給関係学術研究情報収集推進事業，およびJSPS科研費23380126による研究成果の一部であり，山本他（2011），吉田他（2011）をより改善したものである．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いた．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いた．また，本誌レフリーからは貴重なコメントを頂いた．これらの方々に深く謝意を表する．

註

（註１）　余剰窒素量と余剰リン量は，富栄養化ポテンシャルの物質であるが，実際の富栄養化の程度を示すものではなく，あくまで「ポテンシャル」である点には，十分に注意されたい．

（註２）　農家が農協から購入した資材等の購入実績データベースに基づいて，新たに購入肥料などのデータをより精緻化したため，本論文の数値結果は，山本他（2011）や吉田他（2011）とは一部，異なっている．

（註３）　事例対象の有機酪農経営で，購入飼料への依存を減らし，飼料自給を図ろうとしているのは，購入している有機飼料が高価であることが一因と推察される．一方，慣行酪農で，購入飼料に対する依存が高い主な理由は，高泌乳化を目的とした濃厚飼料多投のためと推察される．

引用文献

北海道農政部（2013）『北海道農業生産技術体系（第４版）』, 北海道農業改良普及協会.

増田清敬・宿野部猛（2004）「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』60, 161-168.

増田清敬・髙橋義文・山本康貴・出村克彦（2005）「LCAを用いた低投入型酪農の環境影響評価－北海道根釧地域のマイペース酪農を事例として－」『システム農学』21(2), 99-112.

Masuda, K., and Yamamoto, Y.（2013）Comparison of Environmental Performance Between Conventional and Organic Roughage Production: Grass and Silage Maize, Agroecology and Sustainable Food Systems, 37, 1120-1143.

Maynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F., and Warner, R. G.（1979） Animal Nutrition 7th ed., McGrow-Hill Publications.

McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., and Wilkinson, R. G.(2011) Animal Nutrition 7th ed., Pearson Education Limited.

文部科学省（2010）『日本食品標準成分表2010』，全国官報販売協同組合.
村山義幸・築城幹典・雑賀優（2002）「酪農経営における窒素循環量の定量的推定」『日本草地学会誌』48, 46-47.
農林水産省（1991）『平成２年畜産物生産費調査報告』，農林統計協会.
農林水産省（2012）有機畜産物の日本農林規格，http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/yuki_chiku_120328.pdf, 2014年１月23日参照.
OECD（1999）Environmental Indicators for Agriculture: Volume 1 Concepts and Framework, OECD Publications.
尾和尚人（1996）「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』33, 428-445.
佐々木義之・広岡博之・築城幹典（2004）「畜産業のシステム分析」『システム農学』20(2), 125-137.
東城清秀・木村緑・渡辺兼五（2006）「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』41(3), 135-145.
築城幹典・原田靖生（1996）「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』12(2), 113-117.
築城幹典・原田靖生（1997）「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』13(1)，10-16.
山本康貴・増田清敬・吉田裕介（2011）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－，http://www.alic.go.jp/content/000075257.pdf, 2014年1月23日参照.
吉田裕介・増田清敬・山本康貴（2011）「有機酪農経営を事例とした環境影響評価分析」『畜産の情報』263, 51-55.