HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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
Author(s)	村上, 正俊; 吉田, 文和
Citation	廃棄物資源循環学会論文誌, 20(5), 279-290 https://doi.org/10.3985/jjsmcwm.20.279
Issue Date	2009-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50811
Type	journal article
File Information	yoshida_jjsmcwm20_279.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

【論　　文】

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 ――

村　上　正　俊*・吉　田　文　和**

【要　旨】 本研究は，北海道の酪農・畑作混在地域を事例に，アンケート調査によって，家畜排せつ物や麦稈など有機性資源の処理・利用実態を解明するとともに，物質収支の視点から，畜産と畑作の間における有機性資源の需給バランス評価を試みたものである。

この結果，雑草種子の混入など堆肥の品質を主な原因として畑作農家で堆肥の地域内循環利用が進んでいないこと，畜産農家では，経営規模が大きくなるほど家畜１頭あたりの農地面積が減少し，なおかつ麦稈などの資源を地域外から購入する傾向も高くなること，これらにより投入と生産のアンバランスが生じ，環境負荷の増大を招いていることが明らかとなった。

さらに資源を地域内で適切に循環利用するためには，経産牛１頭あたりの飼料畑面積を約１ha 確保する必要があること，現場でこれら環境負荷を把握する際に，生産履歴台帳のデータを活用したファーム・ゲート・バランス法に準じた手法が有効であることを確認した。

キーワード：有機性資源，物質収支，地域内循環利用，環境負荷，ファーム・ゲート・バランス

1. 緒　　論

農業生産活動の一部では，家畜排せつ物の野積みや素堀などの不適切な処理や，肥料の過剰施用などによる水域の硝酸汚染と富栄養化，残留農薬による土壌汚染のほか，近年ではアンモニアや窒素酸化物放出による酸性化，二酸化炭素やメタン放出など，様々な環境汚染問題を発生させている。

特に家畜排せつ物の問題は，経済性を優先した多頭飼育や高泌乳化に伴う乳用牛１頭あたりの排せつ物発生量の増加などを背景に，農家１戸あたりが処理しなければならない数量が増加傾向にある。

このような状況を背景に，家畜排せつ物由来の堆肥や生産資材として利用される麦稈など，農業副産物の利用・流通は，親戚など個別農家の縁故関係で利用されるケースが多く，利活用の実態は依然として不透明な部分が多い状況にある。

そこで，本研究では，酪農と畑作が混在する農業が展開されている北海道の A 町を事例に，家畜排せつ物や麦稈など有機性資材の処理・利用実態を解明するとともに，物質収支の視点から畜産経営と畑作経営など，個別経営体の間における有機性資源の需給バランス評価を試みた。

酪農経営のエネルギーフロー分析や窒素フロー分析に関する研究は，わが国では干場[1)]，河上[2)]，増田[3)]，猫本[4,5)]等がある。これらの先駆的研究は，主として排出者の視点から分析が行われている。

そこで，本稿では，資源の排出者である畜産農家だけでなく，資源の利用者となる畑作農家を含めて，資源需給バランスを定量評価することにより，農村地域全体での家畜排せつ物を含む有機性資源の処理問題と環境負荷軽減方策について考察を新しく試みる。

2. 方　　法

2.1　アンケート調査の方法

農業生産における物質収支に関する先行研究は，クミ

原稿受付 2008. 7. 18　　原稿受理 2009. 6. 2
* ㈱地域計画センター
** 北海道大学公共政策大学院
連絡先：〒 060－0809　札幌市北区北９条西７丁目
北海道大学公共政策大学院　　吉田　文和
E-mail : yoshida@econ.hokudai.ac.jp

カン（組合員勘定）資料等の金額ベースのデータからマテリアルフロー分析を行っている事例が多い。

本研究では，実際に生産に投入されている現物量ベースで分析を行うことを目的として，近年増加しているトレーサビリティ（生産履歴）記帳の取り組みを鑑み，生産資材等の品目別投入量のデータからマテリアルフローの分析を試みた。

A 町においても全農家で生産履歴の記帳が行われているが，データの利用にあたっては農家全員の了承を得る必要があった。このため，生産履歴の記入様式を模したアンケート調査票を作成し，2005 年に調査を実施した。

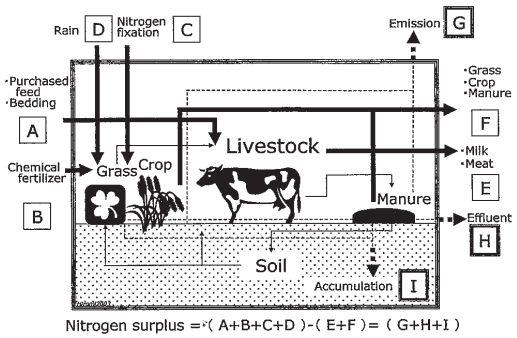
調査は，農家個別に郵送で調査票を配布・回収し，分析の基礎となる資料を入手した。調査票の回答状況は，配布 181 戸のうち 128 戸（回答率 71%），このうち畜産農家が 74 戸（配布 101 戸，回答率 73%），畑作農家が 54 戸（配布 80 戸，回答率 61%）であった。

2.2 資源循環バランスの定量評価の方法

2.2.1 農家個別の環境影響評価手法

農業経営による環境負荷を定量的に把握し，環境負荷の要因となっている生産構造を解明することを目的に，EU 諸国で広く用いられているファーム・ゲート・バランス法[6]に類似した手法を用いて，農家個別の環境影響を定量分析した。

この手法は，個別農家を一つの系とみなして，経営外部との資材の移出入に焦点をあてたもので，生産資材として外部から投入された物質成分量から，生産物あるいは副産物として経営の外部へ移出された物質成分量を差し引くことで，生産活動によって土壌中に蓄積，あるいは大気・水域へ揮散・流出した物質成分量の総和を超過物質成分量として算出する手法である。具体的には，図1に示したように，大気や土壌中に放出される物質成分量（図中の G+H+I）を，資材の投入量（図中の A+B+C+D）から資材の移出量（図中の E+F）を差し引くことで把握するものである。



参考文献 2)酪農生産システムの総合評価 p. 136 より引用

図1 ファーム・ゲート・バランス法の概念図（窒素成分の場合）

本研究では，地域の営農実態を鑑み，投入される生産資材を，①購入飼料（主に配合飼料），②化学肥料，③家畜敷料（麦稈・バーク（樹皮）・もみがら等），④畑作農家の堆肥（購入・麦稈と堆肥の交換）とした。経営外へと移出される生産物および副産物は，⑤生乳，⑥家畜の固体販売（更新淘汰牛・へい死・肉用牛販売），⑦農作物（畑作農家），⑧家畜排せつ物（販売・畑作農家への供給），⑨麦稈（畜産農家への供給）とした。

使用したデータは，アンケート形式で個別農家から収集することができた畜産農家 74 戸，および畑作農家 54 戸のデータを用いた。

2.2.2 経営内の資源循環利用の評価手法

ファーム・ゲート・バランス法は，データが揃えば比較的容易に超過物質成分量を算出できる手法であるが，農業経営を行う際の資材の移入量と移出量に着目した手法であることから，経営内における資源循環を把握しづらい側面を有する（猫本[5]）。

このため，経営内の資源循環利用状況を把握する方法として，農業生産活動により排出される有機性廃棄物は，その由来となる土に返すことが循環利用の基本であると定義し，資源の受け皿となる農地の堆肥投入限度量と，家畜排せつ物発生量との差を対比する手法によって，経営内における環境負荷の定量化を試みた。

具体的には，A 町で発生する家畜排せつ物を化学肥料の代替として利用した場合，その供給量がどの程度見込まれるか，「減肥可能量」という指標に基づいて家畜排せつ物由来堆肥の化学肥料換算量を算定し，堆肥投入限度量と比較した。

「減肥可能量」とは，「北海道施肥ガイド」（㈳北海道農業改良普及協会）[7]において，家畜排せつ物をはじめとする有機物は，それに含まれる肥料成分量のうち作物に利用吸収される効率（肥効率）が化学肥料に比べて悪いため，家畜排せつ物 1 ton あたりが相当する化学肥料成分量に換算して示した値である。

一方，「家畜ふん尿処理・利用の手引き 2004」（㈳北海道立農業・畜産試験場）[8]では，標準的な堆肥の肥料成分含有率と，肥料成分投入による地下水汚染や農作物の生育等への影響を考慮して，農地への面積あたり堆肥施用上限量の目安を定めている。このため，面積あたり堆肥施用上限量と作物別作付面積から，農家個別に「堆肥投入限度量」を算定した。

堆肥投入量は，家畜飼養頭数から見込まれる家畜排せ

つ物発生量から畑作農家や堆肥販売業者等への供給量を控除し，現状において経営内で処理している排せつ物量を「自家処理堆肥量」と定義した。

さらに，「堆肥投入限度量」と「自家処理堆肥量」の差を「余剰堆肥」と定義し，この余剰堆肥の発生量を環境負荷量とみなすことで，経営内の循環利用状況を定量化した。

【余剰堆肥算定の考え方】

堆肥投入限度量
　＝「作物別の堆肥施用上限量」×「作物別作付面積」
自家処理堆肥
　＝「家畜排せつ物発生量」－「畑作供給および販売量」
余剰堆肥
　＝「堆肥投入限度量」－「自家処理堆肥」

2.2.3　制約条件となる肥料成分要素の決定

マテリアルフロー分析を行う上で，分析対象とする成分を特定しなければならない。本研究は，廃棄物ではなく「資源」としての家畜排せつ物に主眼をおき，その需給バランス評価から環境影響と経済性について考察することを目的としている。

このため，家畜排せつ物の肥料成分に着目して，家畜排せつ物の発生量と農地還元可能量を算定し，これらを対比することで，A 町において家畜排せつ物の農地還元を図る上で制約条件となる肥料の成分要素を概定した。

家畜排せつ物に含まれる窒素（N），リン酸（P），カリ（K）の肥料成分は，土壌中に過剰施用した場合，窒素やリンによる富栄養化等の水質汚濁のほか，飼料作物へのカリ過剰施用によるグラステタニー血症（Mg 吸収の阻害）[9] など，家畜生理障害の発症原因となる。

このため，「家畜ふん尿処理・利用の手引き 2004」[8] に基づき，堆肥の施用上限量を定めた。その量は畑作物で 3 ton/10 a，牧草（採草地）では 4 ton/10 a，デントコーンでは 5 ton/10 a としている。

一方，作物の成長に必要な肥料成分要求量は，作物の種類や土壌条件等によって異なる。家畜の尿には特にカリ成分が多く含まれているため，栽培されている作物構成によっては作物の成分要求量が堆肥の施用上限量を下回るケースもある。

このため，土壌条件等を勘案し，A 町を 6 ブロックに区分し，ブロック毎の作物別栽培面積と各ブロックの代表土壌における施肥基準から，堆肥の施用上限と作物

表 1　制約条件となる肥料成分要素の算定

		第 1 ブロック	第 2 ブロック	第 3 ブロック	第 4 ブロック	第 5 ブロック	第 6 ブロック
家畜排せつ物発生量（成分換算）①	生重量　（生重 ton/年）	60,387	52,986	10,532	130,939	17,262	50,274
	N　（kgN/年）	82.10	74.11	13.95	173.25	22.99	66.39
	P　（kgP/年）	27.55	23.34	4.95	61.64	8.07	23.72
	K　（kgK/年）	221.17	199.07	37.69	468.15	62.06	179.45
作物の成分要求量②	N　（kgN/年）	255.61	104.09	84.13	283.28	175.63	214.21
	P　（kgP/年）	183.87	128.75	124.12	134.56	245.62	215.23
	K　（kgK/年）	300.44	91.44	68.54	315.17	144.29	218.75
堆肥の投入限度量③	N　（kgN/年）	94.35	31.39	25.34	91.25	51.63	69.67
	P　（kgP/年）	56.61	18.83	15.21	54.75	30.97	41.80
	K　（kgK/年）	264.18	87.90	70.95	255.50	144.56	195.08
家畜排せつ物還元可能量④＝Min(② or ③)	N　（kgN/年）	94.35	31.39	25.34	91.25	51.63	69.67
	P　（kgP/年）	56.61	18.83	15.21	54.75	30.97	41.80
	K　（kgK/年）	264.18	87.90	68.54	255.50	144.29	195.08
堆肥の過不足状況（成分換算）⑤=①-④	N　（kgN/年）	△ 12.25	42.72	△ 11.39	82.00	△ 28.64	△ 3.28
	P　（kgP/年）	△ 29.06	4.51	△ 10.26	6.89	△ 22.90	△ 18.08
	K　（kgK/年）	△ 43.01	111.17	△ 30.85	212.65	△ 82.23	△ 15.63
堆肥の過不足状況（生重換算）⑥	N ベース（生重 ton/年）	△ 9,010	30,543	△ 8,599	61,974	△ 21,504	△ 2,484
	P ベース（生重 ton/年）	△ 63,697	10,239	△ 21,830	14,636	△ 48,984	△ 38,320
	K ベース（生重 ton/年）	△ 11,743	29,590	△ 8,621	59,477	△ 22,872	△ 4,379
	過不足　（生重 ton/年）	△ 9,010	30,543	△ 8,599	61,974	△ 21,504	△ 2,484

注：① ＝ 肥効率を考慮して化学肥料に代替可能な成分量を算定
② ＝ 施肥基準に基づき土壌および作物別面積から算定
③ ＝ 環境保全の観点から設定されている堆肥の施用限度量から換算した有機物供給限度量
④ ＝ ②作物の成分要求量と③堆肥の投入限度量のうち，いずれか小さい値
⑥ ＝ 成分別に⑤/①のウェイトから生重量を算定
各成分における非負の最大値が超過量（＋），負の最小値が有余量（－）として過不足量を表示

の成分要求量を算定し，いずれか小さい値を「家畜排せつ物の施用限度量」とした（表1参照）。

この結果，各ブロックとも窒素成分が堆肥需給の制約条件になることが明らかとなった。このため，窒素成分を対象に各種マテリアルフロー分析を行うこととした。

3. 結果および考察

3.1 資源循環利用の実態

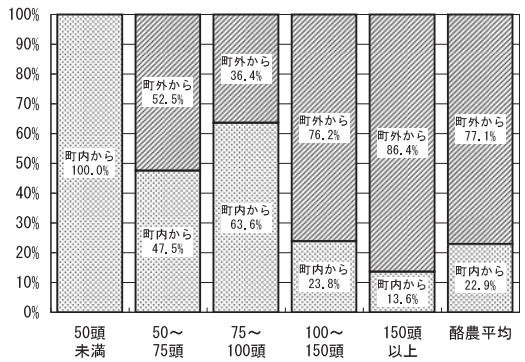
3.1.1 有機性資源の循環利用状況

アンケート調査の結果，回答農家全体から排出される家畜排せつ物の89%が畜産農家により自己処理されており，堆肥と麦稈の交換等により畑作農家が利用している量は11%であった。

畜産農家が使用している家畜敷料は，麦稈，バーク（樹皮），おが粉，水稲のもみがら等であった。

敷料の入手先を家畜飼養規模別にみると，経産牛50頭未満の農家では，堆肥と麦稈の交換あるいは購入により100%町内から入手しているものの，家畜飼養規模が大きくなるにつれて堆肥と麦稈を交換する割合が減少し，町外から敷料を調達する傾向が高くなっていた（図2参照）。これは，資材入手の際に規模の大きい農家ほど，まとまった量を安定的に確保する必要があるため，物々交換ではなく購入を選択した結果であると推察される。

一方，畑作農家のうち，麦稈と堆肥の交換を行っている農家数の割合は56%であった。残り34%の畑作農家から排出される麦稈は，一部が自家堆肥製造等に利用されるものの，大半が鋤き込みや焼却処分されているものと推察される。以上の結果から，A町では，堆肥だけでなく麦稈など敷料についても，地域外からの移入に高く依存しており，地域内で排出される資源が有効に循環利用されていない現状にあることがわかった。



注：敷料入手先の割合は窒素換算値による割合である

図2 経産牛飼養頭数規模別にみる家畜敷料の入手先

3.1.2 化学肥料の利用状況

飼料畑への窒素投入量は，A町酪農経営の平均で単位面積あたり化学肥料が96 kgN/ha，堆肥は減肥可能量に換算して44 kgN/ha，合計140 kgN/haが投入されていた（表2参照）。施肥基準によるとA町の場合，飼料作物への窒素施用量は140～160 kgN/haが標準とされている。

この結果だけをみると，A町の飼料畑では，堆肥から供給される窒素成分量も考慮して化学肥料の減肥に取り組んでいると評価できる。しかし，畜産農家1戸あたりの自家処理量は，16,196 kgN/戸（化学肥料代替量に換算して4,338 kgN/戸）であり，畜産農家の堆肥投入量8,858 kgN/戸（化学肥料相当2,353 kgN/戸）を大幅に超えている。この差7,338 kgN/戸（化学肥料相当1,985 kgN/戸）は，堆積時の大気・水域へ揮散・流出も含まれるが，肥料成分を考慮せずに農地に過剰に投入された埋戻処理等も含まれているのではないかと推察される。

一方，畑作農家の肥料投入量をみると，A町の畑作農家平均で化学肥料が89 kgN/ha，堆肥は減肥可能量に換算して9 kgN/ha，合計98 kgN/haが投入されていた（表3参照）。作物別作付面積を考慮して施肥基準から算出した畑作の窒素標準施用量は約90 kgN/haであることから，畑作農家では，作物への窒素供給は化学肥料で全量を賄い，堆肥の利用は肥料成分を考慮せずに土壌改

表2 飼料作物への窒素投入量

単位：kgN/ha

	酪農					
	経産牛 50頭未満	経産牛 50～75頭	経産牛 75～100頭	経産牛 100～150頭	経産牛 150頭以上	酪農平均
化学肥料投入量	71	100	85	105	97	96
堆肥投入量	105 [28]	141 [37]	154 [41]	127 [34]	265 [70]	167 [44]
合計	176 [99]	241 [137]	239 [126]	232 [139]	362 [167]	263 [140]

注：[ ]は肥効率（作物吸収率）を考慮した減肥可能量

表３　畑作物への窒素投入量　　単位：kgN/ha

	畑作農家（経営規模別）					
	35ha 未満	35～40ha	40～45ha	45～50ha	50ha 以上	平均
化学肥料投入量	81	91	83	91	95	89
堆肥投入量	55 [11]	45 [9]	37 [7]	50 [10]	51 [10]	47 [9]
合計	136 [92]	136 [100]	120 [90]	141 [101]	146 [105]	136 [98]

注：[　]は肥効率（作物吸収率）を考慮した減肥可能量

良等を目的として補完的な利用がされているにすぎないと考えられる。

この結果を前述した有機性資源の循環利用状況と合わせると，畑作農家側は，化学肥料の代替として堆肥を積極的に活用する状態には至っておらず，近傍に位置する畜産農家との連携が低い状況にあるといえる。畜産農家側も，近傍の畑作農家から排出される麦稈等の資源を有効に活用しておらず，畑作との連携が低い利用形態になっている。

3.1.3　資源循環利用に向けた課題

⑴　畜産農家が抱える課題

アンケート調査結果に基づき，A 町の畜産農家が抱えている家畜排せつ物処理・利用上の課題を整理した。この結果，A 町全体では，①堆肥の完熟化が困難である（45%）が上位を占め，次いで②施設規模の不足（26%），③堆肥の運搬散布労力が不足（22%），④堆肥化に必要な労力が不足（21%）となっていた（図３参照）。

1999 年の家畜排せつ物法施行により，A 町では 2005 年までに畜産農家のほぼ 100% で堆肥舎や尿溜の整備が行われているものの，施設整備に必要な投資負担や助成限度の関係から，家畜飼養頭数に対する施設規模が比較的小さい状況にあると農家は指摘している。2005 年現在，北海道では，家畜排せつ物処理施設整備に対する助成限度額を，飼養頭数から見込まれる排出量の 6ヶ月相当規模としている。畑作農家等へ堆肥供給を推進するためには，堆肥の熟成を促進し醗酵熱による雑草種子の死滅処理等が重要であるが，現状の施設規模では堆肥完熟化に必要な作業および保管スペースが確保できないとの指摘もある。

本調査の結果をみると，畜産農家は，家畜排せつ物処理施設の整備を積極的に推進しており，堆肥の利用促進に向けて堆肥の品質向上に取り組む意向はあると思われる。しかし，現状では，労働力と資金の問題から完熟堆肥生産の体制が整っていない状況にある。

⑵　畑作農家が抱える課題

堆肥を利用する側の畑作農家が抱える課題として，①堆肥の熟成度が低く水分率が高い（70%），②雑草種子の混入が多い（63%）が最も多く，労働力や堆肥の不足をあげる農家は 30% 以下であった（図４参照）。

さらに，今後の利活用としては，①品質等の課題が解消されれば活用したい（56%），化学肥料の代替として積極的に活用したい（41%）と，半数が利用に向けて積極的な意向を示していた（図５参照）。

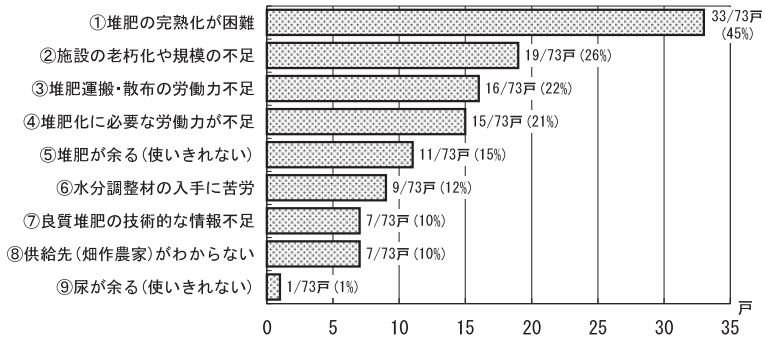


図３　畜産農家が抱える家畜排せつ物処理・利用上の課題

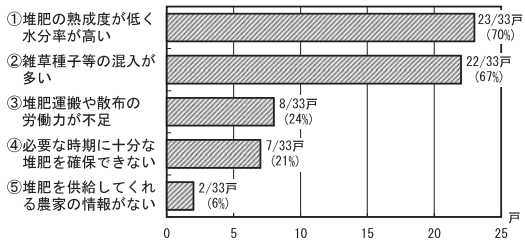


図4 畑作農家が抱える家畜排せつ物処理・利用上の課題

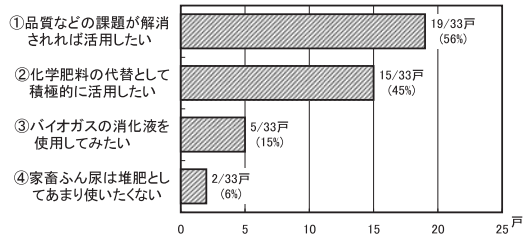


図5 今後の家畜排せつ物利用に対する意向

さらに，麦稈と堆肥の交換等により畑作農家に供給される堆肥は，現状では熟成度が低く水分率が高いため，畑作農家の半数近くは，堆肥の切り返しなど堆肥化の作業を自分で行っている状況が浮き彫りとなった。畑作農家からは，これら堆肥の熟成に要する作業や運搬に要する作業および施設の不足などが課題として指摘された。

以上のことから，A 町では，堆肥の品質向上を図ることで畑作部門への堆肥供給を促進させることが可能であることがわかった。このために，堆肥熟成のための切り返し作業スペース等を確保した施設整備と，堆肥化および運搬に要する労働力の確保対策が特に重要であるといえる。

⑶ 畜産と畑作の連携

A 町では，家畜飼養頭数の増加に伴い，特に窒素成分による農地への環境負荷が増大している。その一方で，畜産農家が使用する家畜敷料や畑作農家が利用する堆肥は，町外からの購入に依存する割合が高く，地域内で発生する農業副産物の循環利用は低水準に止まっている状況にあることがわかった。

この要因として，第 1 に，戸あたり規模の拡大により取引数量が増加したため（表 4 参照），より安定的な資材確保を図る観点から，従来の麦稈・堆肥等の物々交換ではなく，売買による資材確保を選択する傾向にあること，第 2 に，戸あたりの資材取引数量が増大した結果，畜産と畑作それぞれが要求する資材の品質を確保することが難しくなり，畜産と畑作の間の連携が希薄となったことが主な要因であると考えられる。

3.2 個別経営における環境影響評価

3.2.1 経営規模別の超過窒素量

アンケート形式で収集したデータに基づき，ファーム・ゲート・バランス法に準じた手法により，畜産および畑作両方の農家個別に，経営外部から投入した窒素量と農業生産により経営の外部に移出した窒素量の差（超過窒素量）を算定した。

この結果，営農類型別の単位面積あたり超過窒素量は，酪農経営平均で 241.3 kgN/ha，肉用牛および乳用育成牛飼養農家で 209.7 kgN/ha，畑作農家では 58.4 kgN/ha であった。このうち酪農経営の超過窒素量は，干場らが報告した牧草主体の酪農専業地帯における超過窒素量 120 kgN/ha[1] と比較して高く，猫本らが報告した酪農・畑作混合地帯における酪農経営の超過窒素量 300 kgN/ha[5] と近似した値であった。

酪農経営の超過窒素を家畜飼養規模別にみると，経産牛 50 頭未満が 163.5 kgN/ha であるのに対し，75～100 頭規模では 208.4 kgN/ha，100 頭以上の規模になると 240 kgN/ha 以上と，規模が大きくなるに従って超過窒素量が増加する傾向にあった（表 5 参照）。

さらに，酪農経営における経産牛 1 頭あたりの超過窒素量をみると，経産牛 50 頭未満が 173.0 kgN/頭であるのに対し，75～100 頭規模では 136.7 kgN/頭，100～150 頭規模になると 128.5 kgN/頭と，規模が大きくなるに

表4 酪農経営における経営規模別の資材投入状況（北海道平均）

農業経営費		単位	2006 年搾乳牛飼養頭数規模				
			30 頭未満	30～50 頭	50～80 頭	80～100 頭	100 頭以上
農家 1 戸あたり	肥料費①	千円	795	1,349	1,823	1,774	2,889
	飼料費②	千円	3,644	7,213	11,973	19,627	29,093
搾乳牛 1 頭あたり	搾乳牛頭数③	頭	21	40	62	86	128
	肥料費①/③	千円	37.9	33.7	29.4	20.6	22.6
	飼料費②/③	千円	173.5	180.3	193.1	228.2	227.3

資料：「北海道農林水産統計年報（農業経営統計編）2006 年～2007 年」[10]

表5　農家1戸あたりの超過窒素量

			酪農						肉牛肉畑乳育成	畑作
			経産牛50頭未満	経産牛50～75頭	経産牛75～100頭	経産牛100～150頭	経産牛150頭以上	平均		
回答農家数		(戸)	5	24	9	11	10	59	15	54
平均飼養頭数	(経産牛)	(頭/戸)	31	61	86	119	356	123	—	—
	(育成牛)	(頭/戸)	22	42	62	67	209	76	30	—
	(肉用牛)	(頭/戸)	31	42	47	37	237	74	97	—
	計	(頭/戸)	84	145	195	223	802	273	127	—
平均耕地面積	飼料畑	(ha/戸)	32.8	47.1	56.4	58.7	147.7	66.5	21.1	—
	普通畑	(ha/戸)	—	—	—	—	—	—	14.0	40.5
	計	(ha/戸)	32.8	47.1	56.4	58.7	147.7	66.5	35.1	40.5
投入資材① 町外から移入	購入飼料	(kgN/戸)	3,752	7,784	10,573	14,713	43,531	15,219	2,667	—
	化学肥料	(kgN/戸)	2,508	4,405	4,762	6,343	8,784	4,932	4,937	3,709
	麦稈交換	(kgN/戸)	115	346	—	17	—	265	—	—
	麦稈購入	(kgN/戸)	—	271	367	327	470	353	606	—
	バーク購入	(kgN/戸)	—	—	—	874	347	557	187	—
	籾殻購入	(kgN/戸)	—	—	—	896	784	821	—	—
	小計	(kgN/戸)	6,375	12,806	15,702	23,170	53,916	22,147	8,397	3,709
投入資材① 町内で調達	麦稈交換	(kgN/戸)	864	259	363	186	317	308	52	—
	麦稈購入	(kgN/戸)	265	354	278	258	—	303	442	—
	バーク購入	(kgN/戸)	—	104	—	119	—	114	—	—
	堆肥購入	(kgN/戸)	—	—	—	—	—	—	—	378
	堆肥交換	(kgN/戸)	—	—	—	—	—	—	—	1,556
	小計	(kgN/戸)	1,129	717	641	563	317	725	494	1,934
投入資材① 計		(kgN/戸)	7,504	13,523	16,343	23,733	54,233	22,872	8,891	5,643
生産物・副産物② 生産物	生乳	(kgN/戸)	1,051	2,127	3,153	4,522	13,575	4,579	—	
	固体販売	(kgN/戸)	67	120	172	218	651	232	71	
	農作物	(kgN/戸)	—	—	—	—	—	—	1,061	3,181
	小計	(kgN/戸)	1,118	2,247	3,325	4,740	14,226	4,811	1,132	3,181
生産物・副産物② ふん尿	畑作仕向	(kgN/戸)	1,024	1,084	1,265	3,506	3,547	1,975	398	—
	販売	(kgN/戸)	—	—	—	201	—	37	—	—
	小計	(kgN/戸)	1,024	1,084	1,265	3,707	3,547	2,012	398	—
生産物・副産物② 麦稈交換		(kgN/戸)	—	—	—	—	—	—	—	98
生産物・副産物② 計		(kgN/戸)	2,142	3,331	4,590	8,447	17,773	6,823	1,530	3,279
超過窒素 (①-②)		(kgN/戸)	5,362	10,192	11,753	15,286	36,460	16,049	7,361	2,365
		(kgN/ha)	163.5	216.4	208.4	260.4	246.9	241.3	209.7	58.4

従って単位頭数あたり超過窒素量は減少していた。

一方，経産牛1頭あたりの農地面積は，経産牛50頭未満が1.1 ha/頭であるのに対し，75～100頭規模では0.7 ha/頭，100～150頭規模になると0.5 ha/頭と，規模が大きくなるに従って単位頭数あたり面積が減少していた（表6参照）。

以上のことから，酪農経営では，規模拡大により家畜1頭あたりに投入される窒素の原単位は減少しているものの，窒素成分の還元先となる農地の単位が投入の原単位を超える水準で減少しているため，経営全体で超過窒素量が増加していることがわかった。

3.2.2　超過窒素量の増加要因

超過窒素量が増加する要因のひとつに，投入窒素の70% を占める購入飼料が大きく関係していると思われる。さらに，規模が大きい農家ほど生産の効率化を目指して家畜1頭あたりの農地面積は小さくなる傾向にあった（表6参照）。

このことから，酪農経営において規模拡大に伴い超過窒素が増加する主な要因は，規模拡大により生産の効率化を追及した結果，家畜1頭あたりの粗飼料生産面積が減少し，窒素成分の受け皿が減少する一方，規模の大小にかかわらず経産牛1頭あたりの購入飼料投入量は一定であるため，投入と生産のアンバランスが生じた結果であると考えられる。

この仮説を検証するため，粗飼料生産面積と購入飼料投入量の分布をみた。分布をみるために用いたデータは，

表6　経産牛1頭あたりの超過窒素量

				酪　　農（経産牛飼養規模別）					
				50頭未満	50～75頭	75～100頭	100～150頭	150頭以上	平均
耕地面積			（ha/頭）	1.1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.5
投入資材①	町外	購入飼料	（kgN/頭）	121.0	127.6	122.9	123.6	122.3	123.7
		化学肥料	（kgN/頭）	81.0	72.2	55.4	53.3	24.7	40.1
		麦稈交換	（kgN/頭）	3.7	5.7	—	0.1	—	2.2
		麦稈購入	（kgN/頭）	—	4.4	4.3	2.7	1.3	2.9
		バーク購入	（kgN/頭）	—	—	—	7.4	1.0	4.5
		籾殻購入	（kgN/頭）	—	—	—	7.7	2.1	6.7
		小計	（kgN/頭）	205.7	209.9	182.6	194.8	151.4	180.1
	町内	麦稈交換	（kgN/頭）	27.9	4.2	4.2	1.6	0.9	2.5
		麦稈購入	（kgN/頭）	8.5	5.8	3.3	2.2	—	2.5
		バーク購入	（kgN/頭）	—	1.7	—	0.9	—	0.9
		小計	（kgN/頭）	36.4	11.8	7.5	4.7	0.9	5.9
	計		（kgN/頭）	242.1	221.7	190.1	199.5	152.3	186.0
主・副産物②	生産物	生　　乳	（kgN/頭）	33.9	34.9	36.7	38.0	36.1	36.2
		固体販売	（kgN/頭）	2.2	1.9	2.0	1.8	1.8	1.9
		小計	（kgN/頭）	36.1	36.8	38.7	39.8	37.9	38.1
	家畜排せつ物	畑作仕向	（kgN/頭）	33.0	17.8	14.7	29.5	10.0	16.1
		販　　売	（kgN/頭）	—	—	—	1.7	—	0.3
		小計	（kgN/頭）	33.0	17.8	14.7	31.2	10.0	16.4
	計		（kgN/頭）	69.1	54.6	53.4	71.0	47.9	54.5
超過窒素（①−②）			（kgN/頭）	173.0	167.1	136.7	128.5	104.4	131.5

畜産農家74戸のうち，経営形態が一般と異なる肉牛農家など酪農以外の農家15戸と，経産牛飼養頭数が900頭クラスのメガファーム2戸，および調査票の質問項目に無回答の項目があった農家2戸を除外した酪農経営55戸のデータを用いた。

この結果，A町では，粗飼料生産面積が大きくなるほど購入飼料投入量が増加する傾向にあることがわかった（図6参照）。環境への負荷を考慮するならば，本来粗飼料生産面積が大きくなるほど家畜飼料は自給で賄われ，購入飼料量は減少する傾向で推移するのが理想的な配分である（図7参照）。

しかし，A町では，規模が大きくなるほど家畜1頭あたりの耕地面積が減少し，一方で家畜1頭あたり購入飼料投入量は規模の大きさに関係なく概ね一定量が投入されていた（表6参照）。

以上のことから，A町の酪農では自給飼料の生産規模と購入飼料の投入量にアンバランスが生じ，結果として大規模農家になるほど環境への負荷が大きくなる生産構造になっていることがわかった。

さらに，経営内の要素と超過窒素の関係を分析するためには，資材の投入量と生産物の移出量に着目したファーム・ゲート・バランス法だけでは経営内の循環利用状況を把握するには不十分である。そこで，別の手法を用いて経営内の資源循環利用状況について分析するこ

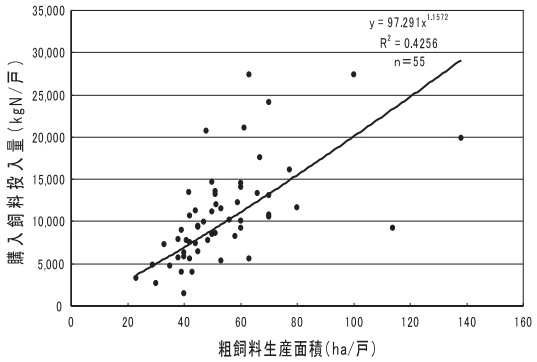


図6　粗飼料生産面積と購入飼料投入量の関係（A町の実態）

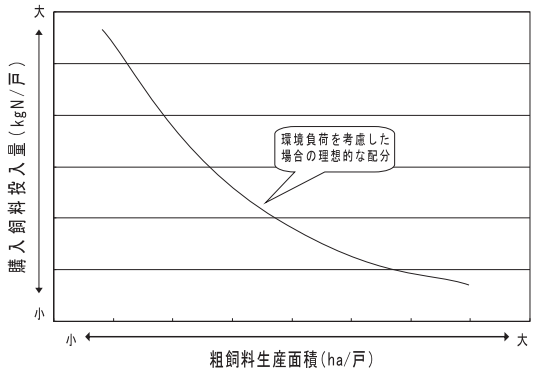


図7　粗飼料生産面積と購入飼料投入量の関係（理想形）

ととした。

3.3 経営内における資源循環利用の評価

3.3.1 畜産農家の余剰堆肥発生量

A 町における酪農家 1 戸あたりの家畜排せつ物平均発生量は年間 21,274 kgN/戸で，肥効率を考慮した減肥可能量に換算すると 5,702 kgN/戸が排出されている。堆肥の利用用途別には，堆肥と麦稈の交換等により畑作農家に供給されている数量が 2,258 kgN/戸（化学肥料相当 529 kgN/戸）で 10.6%，業者等への販売が 37 kgN/戸（化学肥料相当 10 kgN/戸）で 0.2% となっている。残りの 18,979 kgN/戸（化学肥料相当 5,163 kgN/戸）は畜産農家が自分の経営内で処理していると思われる数量であった（表 7 参照）。

一方，酪農家の戸あたり平均農地面積は 66.5 ha/戸で，環境負荷や作物生育への影響を考慮した作物別の堆肥施用上限量から見込まれる農地への堆肥投入限度量は，2,840 kgN/戸であった。

家畜排せつ物の減肥可能量と，農地への堆肥投入限度量の差から算定した余剰堆肥発生量は，農家 1 戸あたり年間平均 2,323 kgN/戸であった。

3.3.2 家畜飼養規模と余剰堆肥の発生量

家畜排せつ物発生量と余剰堆肥発生量の相関をみると，排せつ物の発生量に応じて余剰堆肥の発生量も増加しており，家畜飼養規模と余剰堆肥発生量の間には強い正の相関があった（図 8 参照）。

次に，窒素の排出源である家畜の飼養規模と，窒素の受入先である農地面積のバランスを考慮して余剰堆肥の発生状況をみるため，ha あたり家畜排せつ物発生量と余剰堆肥発生量の関係について分析した。すると，ha あたりの家畜排せつ物発生量が 152 kgN/ha を超える水準から余剰堆肥が発生する傾向にあるということがわかった（図 9 参照）。

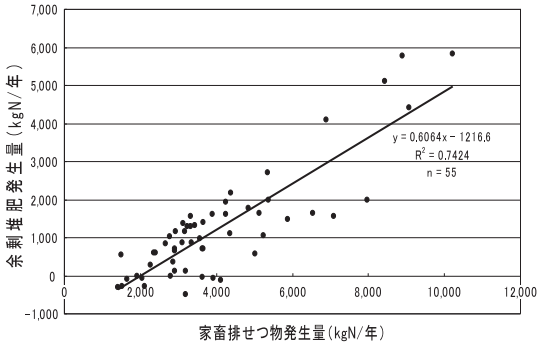


図 8 農家 1 戸あたり家畜排せつ物発生量と余剰堆肥発生量の相関図

A 町では，酪農 1 戸あたりが個別経営内で処理している家畜排せつ物発生量は 18,979 kgN/年であった。これを搾乳牛平均飼養頭数 123 頭で割り返すと，酪農経営から排出される窒素成分量は経産牛 1 頭あたり 154 kgN/頭となる。つまり，A 町では，現状の牛群構成や麦稈と堆肥の交換状況等を前提とした場合，家畜飼養頭数が多くなると家畜 1 頭あたりの農地面積が減少する傾向にあることから，余剰堆肥の発生を抑制するためには，

表 7 家畜排せつ物の利用用途別数量

			酪農（経産牛飼養規模別）					
			50 頭未満	50～75 頭	75～100 頭	100～150 頭	150 頭以上	平均
回答農家数（戸）			5	24	9	11	10	59
家畜排せつ物の利用用途別数量	自家処理	生重量（ton/戸）	961	1,929	2,733	2,961	11,568	3,796
		N 換算（kg/戸）	4,803 [1,331]	9,644 [2,640]	13,667 [3,711]	14,804 [4,011]	57,842 [15,708]	18,979 [5,163]
		割 合（%）	79.2%	88.0%	90.9%	79.2%	93.2%	89.2%
	畑作仕向	生重量（ton/戸）	252	262	274	739	849	452
		N 換算（kg/戸）	1,258 [306]	1,312 [304]	1,370 [321]	3,696 [916]	4,245 [945]	2,258 [529]
		割 合（%）	20.8%	12.0%	9.1%	19.8%	6.8%	10.6%
	販 売	生重量（ton/戸）	—	—	—	40	—	7
		N 換算（kg/戸）	— —	— —	— —	201 [53]	— —	37 [10]
		割 合（%）	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.2%
	計	生重量（ton/戸）	1,213	2,191	3,007	3,740	12,417	4,255
		N 換算（kg/戸）	6,061 [1,637]	10,956 [2,944]	15,037 [4,032]	18,701 [4,980]	62,087 [16,653]	21,274 [5,702]
		割 合（%）	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

注：窒素（N）換算は「北海道施肥ガイド」（北海道農政部編：H14 年 10 月）に基づき成分量を算定した
[ ]は肥効率（作物吸収量）を考慮した減肥可能量

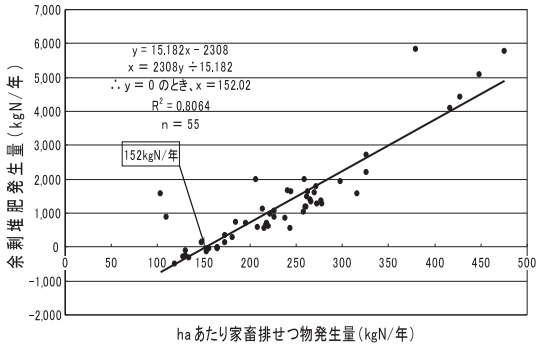


図 9　ha あたり家畜排せつ物発生量と余剰堆肥発生量の相関図

表 8　農地への堆肥投入可能量からみた家畜飼養適正規模の試算

		堆肥投入可能量（KgN/年）			経産牛飼養可能頭数（頭）	経産牛 1 頭あたり飼料畑面積（ha/頭）
		一般畑（3,477ha）	飼料畑（5,289ha）	計（8,766ha）		
畑作農家の堆肥利用率	0%	0	231,640	231,640	4,995	1.06
	10%	10,431	231,640	242,071	5,220	1.01
	20%	20,862	231,640	252,502	5,445	0.97
	30%	31,293	231,640	262,933	5,670	0.93
	40%	41,724	231,640	273,364	5,895	0.90
	50%	52,155	231,640	283,795	6,120	0.86
	60%	62,586	231,640	294,226	6,345	0.83
	70%	73,017	231,640	304,657	6,570	0.81
	80%	83,448	231,640	315,088	6,795	0.78
	90%	93,879	231,640	325,519	7,020	0.75
	100%	104,310	231,640	335,950	7,245	0.73

154 kgN/頭÷152 kgN/ha＝1.01 ha/頭以下の規模を目安として，農地面積と飼養頭数のバランスに留意する必要があるということがわかった。

この値は「北海道農業生産技術体系（第 3 版）」[11]において示されている，北海道の平均的な飼養基準である家畜 1 頭あたり耕地面積約 1 ha と同値であり，妥当な値であるといえる。

3.3.3　堆肥の需給バランスからみた適正規模の検討

畑作農家も含む地域内での循環利用を前提とした場合，農地が受入可能な家畜排せつ物量に見合った家畜飼養の適正規模は，どの程度になるのだろうか。

ここでは，実態調査から把握された経産牛 1 頭あたりの排せつ物発生量に基づき，現状の作物別作付面積で投入可能な家畜排せつ物量に見合った家畜飼養規模について試算を行った。

適正規模の試算は，肥効率を考慮した家畜排せつ物の減肥可能量と農地への堆肥投入限度量に基づき，畜産農家が利用する飼料畑へは堆肥投入可能量の 100% を家畜排せつ物で賄うものと仮定した。畑作農家が利用する一般畑への堆肥供給は，現状において畑作での堆肥利用量が少ないことから，堆肥利用率を 0% から 100% まで変化させて農地への堆肥投入可能量を算定し，それぞれのケースに見合った排せつ物量に相当する家畜飼養規模を試算した。

この結果，畑作農家が利用する堆肥の 100% を地域内で発生する家畜排せつ物で賄った場合，A 町で飼養可能な家畜飼養規模は，経産牛 7,245 頭であり，経産牛 1 頭あたりの飼料畑面積は 0.73 ha/頭を確保する必要があると見込まれた（表 8 参照）。

A 町では，現在 9,000 頭（0.54 ha/頭）に及ぶ経産牛が飼養されていることから，畑作農家における家畜排せつ物由来堆肥の利用率が 100% になったとしても，余剰窒素の課題を抜本的に解決することは難しく，堆肥の地域外への販売など広域的な処理・利用計画について検討していかなければならない状況にある。

4. 総　　括

A 町の家畜飼養頭数は，これまでも一貫して増加傾向で推移しており，地域畜産振興方向では今後とも飼養頭数の増加を計画している。

しかし，家畜から排出される排せつ物量は，既に地域内の農地だけでは受入不可能な量に達していると見込まれ，今後とも飼養頭数の増加を推進していくためには，林地など農地以外への堆肥投入や地域外への堆肥移出も含めて適切な処理と利用対策を講じていく必要がある。

家畜排せつ物の適切な処理と利用を推進するためには，第一に排出者である畜産農家が，個々の経営の中で家畜排せつ物の農地還元可能な受入量と排出量のバランスを把握・管理する必要がある。その上で，余剰堆肥の畑作農家への堆肥供給と，麦稈など一定地域内で発生する資源の循環利用体系を構築し，資源の地域内循環に努めていくことが重要である。

本研究では，A 町を事例にファーム・ゲート・バランス法を活用した環境負荷について定量化を試みた。

この結果，近年進められている生産履歴台帳（トレーサビリティ）のデータを用いることで，他地域でも同様の手法を用いて比較的容易に環境負荷の推計を行うことが可能であることがわかった。

農業生産活動を通じて発生する環境負荷は，その地域の気象条件や土壌条件などによって環境が許容できる負荷量は異なるため，定量的に一般化することは難しい。

しかし，本研究で用いたファーム・ゲート・バランス法とデータベースとしての生産履歴台帳の活用は，環境負荷の推計を行う手法として一般化できる手法である。

さらに，農地への堆肥投入限度量という観点から，各地域の土壌・気象条件および作物構成等に応じた畜産の適正規模を考慮したうえで，環境への配慮と経済性を両立させた農業生産構造を構築していくことが望ましい。

このためには，生産の資材投入において大きなウィトを占める購入飼料の投入節減と飼料自給率の向上を推進することが重要であり，これは環境保全の観点からだけでなく，食料自給率の向上の観点からも今後ますます重要となっていく課題である。

参 考 文 献

1） 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 ―― 経済的収益性・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，pp. 129–134（2001）

2） 河上博美：酪農生産システムの総合評価，酪農学園大学博士論文，pp. 1–174（2003）

3） 増田清敬：LCA を用いた酪農環境問題の定量分析，2003 年度日本農業経済学会論文集, pp. 341–346（2003）

4） 猫本健司，干場信司，河上博美，森田 茂，池口厚男：経済的収益性・投下化石エネルギー量および窒素負荷量による北海道の一酪農場の総合評価，農業施設，第 33 巻，第 1 号，pp. 21–26（2002）

5） 猫本健司，干場信司，河上博美，森田 茂，池口厚男：異なる糞尿処理方式をもつ北海道の酪農生産システムの経営的収益性・投入化石エネルギーおよび窒素負荷からみた評価，農業施設，第 34 巻，第 2 号，pp. 143–149（2003）

6） Europa-Gateway to the European Union-nitrogen in Agriculture :
http : //europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/en/nitro_en/report.htm

7） ㈱北海道農業改良普及協会：北海道施肥ガイド ―― 北海道農政部編 ――，pp. 65–68（2002）

8） ㈱北海道農業改良普及協会：家畜ふん尿処理・利用の手引き 2004 ―― 企画・編集 北海道立農業・畜産試験場家畜ふん尿プロジェクト研究チーム ――（2004）
http : //www.agri.pref.hokkaido.jp/sintoku/ecolo/manual2004/manual04_toc.htm

9） 全国農業協同組合連合会：施肥診断技術者ハンドブック（1999）
http : //www.zennoh.or.jp/bu/hiyaku/sinsakukun/yougo/index.files/yougosyu.htm

10） 北海道農林統計協会：北海道農林水産統計年報（農業経営統計編）2006 年～2007 年，p. 247（2008）

11） 北海道農政部編：北海道農業生産技術体系（第 3 版），p. 358（2005）

Quantitative Analysis of the Organic Resource Supply and Demand Balance in Agricultural Areas :

Assessment of the Material Balance in Dairy Farming and Dry Field Farming in Hokkaido Town A

Masatoshi Murakami* and Fumikazu Yoshida**

* Chiiki Keikaku Center Co., Ltd.
** School of Public Policy, Hokkaido University

† Correspondence should be addressed to Fumikazu Yoshida :
School of Public Policy, Hokkaido University
(Kita7, Nishi9, Kita-ku, Sapporo 060−0809 Japan)

Abstract

In a case study of a mixed dry field and dairy farming area in Hokkaido, we used a questionnaire to ascertain how farmers manage and use livestock waste, straw and other organic resources. Then, from a material balance perspective, we attempted to assess the supply-demand balance of organic resources between raising livestock and dry-field farming.

We found that the local cyclical use of composted livestock waste by dry-field farmers has made little progress, primarily due to a quality problem created by weed seeds mixed into the compost and the pattern that the more cattle a dairy farmer has, the smaller the amount of farmland available per head, causing a greater tendency to purchase straw and other resources from outside the area. This creates an input-output imbalance that increases the environmental burden.

In addition, this study confirmed that the appropriate local cyclical use of resources requires securing about 1 ha of feed-growing land per cow. Moreover, when ascertaining the environmental burdens of farms, applying a method based on the farm gate balance method, which uses data from production history ledgers, was found to be effective.

Key words : organic resources, material balance, local cyclical use, environmental burden, farm gate balance