

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2005～2008

課題番号：17380161

研究課題名（和文） 耕畜連携をめざした環境保全型畜産システムの構築とその評価

研究課題名（英文） Development and Evaluation of Sustainable Animal Production Systems integrated with Crop Production

研究代表者

廣岡 博之（HIROOKA HIROYUKI）

京都大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：60192720

研究成果の概要：

本課題では、耕畜連携をめざした環境保全型畜産システムの構築の可能性について、個体レベル、農家レベル、地域レベルの3水準から、学際的視野で検討を加えた。その結果、個体レベルでは、糞尿由来の窒素やリンなど環境負荷栄養素の排泄量の低減、生産性を向上、農家レベルでは畜舎の生糞尿や堆肥化過程での揮散アンモニアや窒素化合物の低減、効率的な堆肥や化学肥料の施肥、農家内での栄養素の内部循環の促進、また地域レベルでは耕畜連携の強化と堆肥の広域流通の確立が重要であることが示された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	6,700,000	0	6,700,000
2006年度	3,900,000	0	3,900,000
2007年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
総計	15,300,000	1,410,000	16,710,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：畜産学・獣医学 ・ 畜産学・草地学

キーワード：耕畜連携、畜産、環境負荷、堆肥、システム

## 1. 研究開始当初の背景

わが国の畜産は、効率性のみを追求するあまり、農地拡大を伴わない急速な規模拡大を続け、土地から離脱し海外からの購入飼料に依存する所謂「加工型畜産」となり、その結果として、畜産経営が地域社会から排除される傾向を帯びてくるようになった。このような状況を鑑みると、いかに、家畜の糞尿に由来する排泄物による環境への負荷を軽減するかが、緊急に対処すべき課題と言える。その一つの解決策として畜産農家による糞尿由来の堆きゅう肥の循環を最大限に活用し

ようとする環境保全型耕畜連携生産システムの構築とその評価が考えられる。

畜産分野において、環境問題がクローズアップしてきたのは、世界的に見ても1990年代に入ってからである。オランダ、ドイツ、北欧の国々を始めとするヨーロッパ諸国では、政策的にも畜産由来の環境負荷物質の制限が着手され、また同時にそのような条件下での生産性の向上と農家の生き残りを探る研究が数多く行われている。わが国においても、近年畜産の環境問題が大きくクローズアップされ、最も重要な研究課題のひとつとし

て、さまざまな研究機関で研究がなされているが、ほとんどの場合、畜産学、作物学、土壌学の1分野の範囲内での検討に終わっているように思われる。

本研究で扱おうとする畜産環境問題の完全な解決は難しいことは事実であるが、さまざまな分野の研究者が一同に集まって、さまざまな分析ツールを駆使して問題に取り組むことによって、複雑と思われる問題の解決の糸口を発見し、さらに、問題解決のための方向性とガイドラインを示すことが可能になると考えられる。

本研究において、畜産サイドからは窒素やリンの排泄をできる限り抑えて、生産性を向上させる飼料設計と飼養法を明らかにし、また耕種サイドからは家畜からの排泄物を作物に利用する最適な方法を提示し、同時に地域内の畜産由来環境負荷物質の循環を最適化する方策を提言することは、これまでの生産効率一辺倒の生産体系から環境保全循環型の生産体系に移行する施策の一助になることが期待できる。

## 2. 研究の目的

(1)第1の目的は、家畜に関する窒素とリンの出納実験を試み、飼料中の窒素とリンがいかにか家畜生産に利用され、また外部に糞尿として排泄されるかを定量的に把握し、窒素やリンの制限下における最適な飼料設計と飼養方法を確立することである。

(2)第2の目的は、畜産農家の環境負荷物質の排泄量と耕種農家の家畜糞尿由来の堆肥の土地還元量をサンプルの成分分析や実態調査によって明らかにし、それらの情報に基づく循環モデルを構築することである。

(3)第3の目的は、実際に利用されている堆肥の含有成分と品質評価を行い、それらの堆肥の連用耕地における作物の生育・収量・品質反応と土壤理化学性変化の動的関係から、水稻の生育・収量・品質を考慮した堆肥連用圃場での窒素・リン収支の動態モデルを構築することである。

(4)最後に、これらの情報を組み合わせて、都道府県レベルから農家レベルまでの家畜由来の窒素やリンによる環境負荷を一定のレベルに制限しながら最適な循環型有畜生産システムをめざす指針を提示するコンピュータソフトを開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1)個体レベルからの分析

持続的な乳牛および肉牛の生産システムを開発するために、高品質畜産物生産と飼料自給率向上を達成可能な条件下で、糞尿排泄量と窒素・ミネラル排泄量を低減できる牛の飼養管理法について検討した。まず、ホルスタイン種乾乳牛34頭および泌乳牛16頭を

用いた出納試験のデータを利用して、窒素、リンおよびカリウム摂取量とそれらの排泄量の関係並びに窒素、カリウムおよびナトリウム摂取量と尿量との関係を調べた。次に、黒毛和種繁殖雌牛36頭および黒毛和種肥育雌牛12頭の血液、尿並びに給与飼料を採取し、肉牛からの窒素およびカリウム排泄量の実態を調査した。最後に、乳牛及び肉牛からの窒素、リンおよびカリウム排泄量のデータを解析して、乳牛および肉牛からの糞尿排泄量と窒素、リンおよびカリウム排泄量の低減方法を調べた。

### (2)農家レベルからの分析

肉牛肥育と稲作を統合した有畜複合システムにおいて、システム内に部門を設定する手法を用い、一般農家における家畜—作物間の窒素とリン循環を数量化した。有畜複合システムを肉牛肥育、堆肥、水稻生産、作物/農業副産物部門に分け、各部門の窒素とリン収支を算出した。各部門における窒素とリン項目は農家からの聞き取りに基づいて設定し、窒素やリンが含まれる物質の収支量は実際の測定値に基づき推定した。物質に含まれる窒素とリン含有率は、農家で収集したサンプルを窒素含有率はケルダール法により、リン含有率は比色法により測定した。窒素とリン循環は、部門間を移動する窒素とリンから把握した。

### (3)地域レベルからの分析

栃木県N市を対象地域とし、統計データは農林水産省の市町村別統計データ「わがマチ・わがムラ—市町村の姿—」を用いた。この地域は、酪農が盛んで、乳牛21900頭、肉牛7270頭、採卵鶏49100羽が飼養されている。環境負荷の観点から自給飼料の特徴を検討するために、以下の4つのシナリオを想定した。①現状で生産される自給飼料を使用(対照区)：敷料は系内の稲わらを使用、②飼料を全て輸入。自給飼料は生産しない。：敷料は系内の稲わらを使用。この場合、飼料作付け面積は0とした。③飼料イネを3.64ha作付け。原物で1.1t/10a(損失25%)の生産量を仮定。泌乳牛に給与。④飼料イネを3.64ha作付け。原物で2.5t/10a(損失25%)の生産量を仮定。泌乳牛に給与。

(4)耕種作物サイドからの堆肥の利用：化学肥料の消費を減らし、環境に窒素が多量に蓄積しないようにするためには、化学肥料窒素の一部を堆肥の窒素でまかない、化学肥料窒素使用量を削減することが重要と考え、特に、日本の耕地面積の約40%を占める水田において、化学肥料窒素をどの程度まで堆肥の窒素で代替できるかについて検討した。

## 4. 研究成果

### (1)個体に関する分析

図1には乳牛(乾乳牛34頭と泌乳牛16頭)

の窒素摂取量と窒素吸収量・蓄積量並びに糞尿中への窒素排泄量の関係を示した。乳牛の窒素吸収率は約72%とほぼ一定であったが、窒素摂取量の増加に伴って糞尿中への窒素排泄量が増加した。また、乳牛では摂取したリンの大部分は糞中に排泄されたものの、窒素とカリウムは尿中への排泄量が多かった(図2、3)。

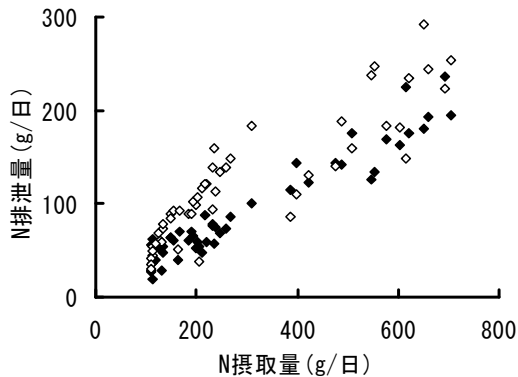


図1. 牛の窒素(N)摂取量と蓄積量(■)並びに糞(◆)および尿(◇)中N排泄量の関係

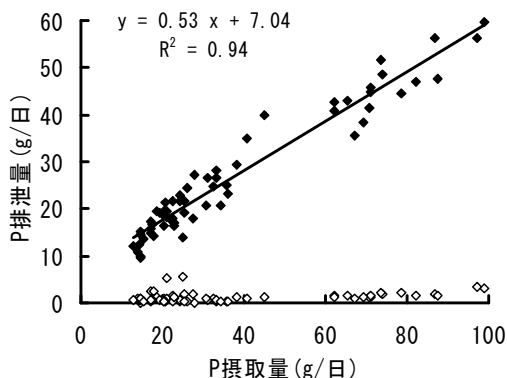


図2. 牛のリン(P)摂取量と糞(◆)および尿(◇)中P排泄量の関係

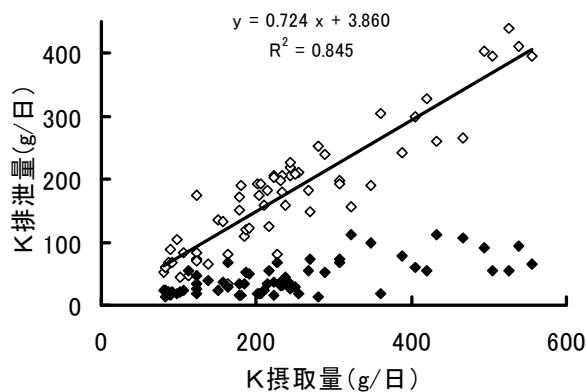


図3. 牛のカリウム(K)摂取量と糞(◆)および尿(◇)中K排泄量並びにK吸収量(□)およびK蓄積量(■)の関係

以上の結果から、尿中窒素排泄量の上昇に伴って血漿中尿素窒素濃度が上昇したことから、血漿中尿素態窒素濃度を指標として尿中窒素排泄量を推定できることを明らかにした。また、尿中カリウム排泄量あるいは窒素排泄量の増加に伴って尿量が増加したことから、カリウムと窒素の過剰給与を避けることによって尿量の低減が可能なが認められた。

さらに、尿中カリウム含量は繁殖牛が肥育牛よりも高かったことから、乳牛と同様に肉用繁殖牛でもカリウムの過剰摂取に注意することが必要と推察された。最後に、牛からの環境負荷物質低減のためには養分要求量を満たすように給与することと生産性向上による飼養頭数の減少が重要なことを明らかにするとともに、尿量低減のためにはカリウムと窒素摂取量の低減に加えて、適切な水管理が重要なことを明らかにした。

(2)農家レベルからの分析

調査農家の窒素とリン循環の研究結果を、図4と図5に示す。

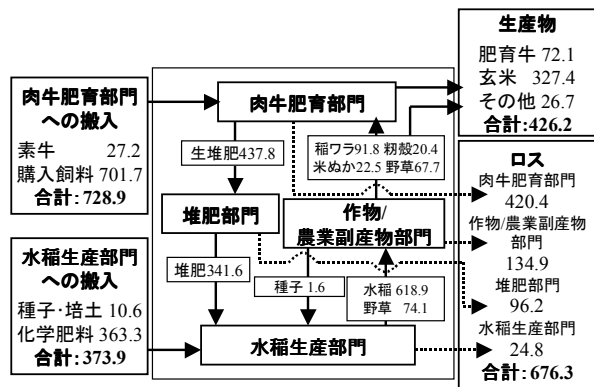


図4. 肉牛肥育・水稲複合生産農家における窒素フロー

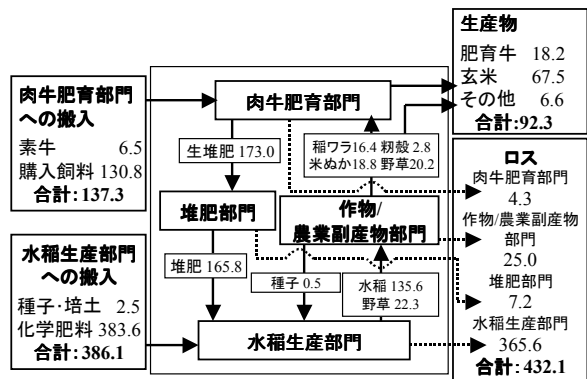


図5. 肉牛肥育・水稲複合生産農家におけるリンフロー

農家の生産システムの窒素とリン収支をみると、投入された窒素とリンのうち、それぞ

れ 36%、17%が生産物として産出された。また、生産システム内で部門間を移動する窒素とリンを見ると、窒素とリンは肉牛肥育～堆肥～水稻生産～作物/農業副産物部門の順に移動し、家畜—作物間で多くの窒素とリンが循環利用されていた。また、各部門の投入量から産出量を差し引いて求めたロス、窒素では肉牛肥育部門で、リンでは水稻生産部門で最も多かった。ロスの窒素とリンは、部門内に留まるか部門外の環境へ流出するかのどちらかと考えられ、肉牛肥育部門の窒素ロスは家畜糞尿のアンモニア揮散に由来し、作物/農業副産物部門のリンロスは土壌へのリン蓄積につながると考えられた。

### (3)地域レベルの分析

各インパクトカテゴリーにおける現状のシナリオ①を100とした場合の各シナリオの割合を図6に示す。温暖化においては、シナリオ②の全飼料を輸入した場合が最も影響が大きく、現状より約8%温暖化負荷が増加すると試算された。さらに、シナリオ③、④の飼料イネの作付けのシナリオはともに0.02%と僅かではあるが、現状よりも温暖化負荷は大きくなった。酸性化においては、シナリオ②がやはり現状よりも約2%負荷量が増加すると予測された。シナリオ③、④では、約1%の増加であった。富栄養化においても酸性化と同様の傾向であった。エネルギーをみると、全飼料輸入のシナリオ②は現状の約30%ほどエネルギー消費が増加すると試算された。シナリオ③、④は約0.1%の消費増加であった。

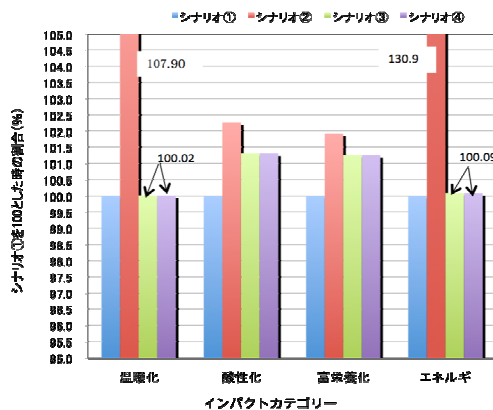


図6. 各シナリオの環境影響の比較

### (4)耕作サイドからの分析結果

醗酵消化液由来窒素の水稻による吸収率は50パーセントで、化学肥料の水稻による吸収率40~60パーセントとほぼ同様と予測され、化学肥料と同様の肥料効果を示し、化学肥料の代替として使用できることが明らかになった(図7)。また、物質の投入/産出

バランスが、耕地の持続性、すなわち作物の生産性と環境との調和を支配することから、窒素の投入と土壌が許容できる窒素投入量との関係および堆肥を施用した水田土壌からの窒素の発現などから、水稻の生産性と環境との調和を図るための穂肥管理モデルを提案した。

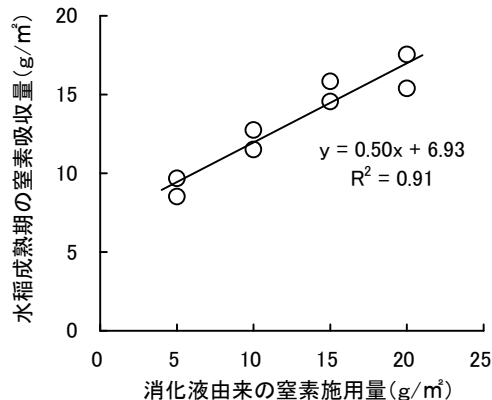


図7. 消化液由来の窒素施用量と水稻による吸収量との関係(西川ら、2008)。図中の直線回帰式の傾きが吸収率を示す。

### (5)ソフトウェアの開発

研究成果の利用を促進するために、本研究では2つのソフトウェアの開発を行った。その一つは畜産—耕種農業系の物質収支と環境影響計算のためのソフトウェアで、作物データファイルと家畜の給与飼料から環境負荷物質の収支と環境影響を計算することができる。もう一つのソフトは、Differential Evolution (DE)を用いて複雑な生産系の最適化を行うもので、環境負荷を考慮した耕畜連携生産モデルの最適化の実例を示し、プログラムの公開を行った。

### (6)問題解決のための方策

以上の研究(ここで示した以外の実験結果も踏まえて)より、個体レベルでの方策としては、ふん尿由来の窒素やリンなど環境負荷栄養素の排泄量の低減と生産性の向上が考えられる。これまでの考え方では、一般に生産性の向上と環境負荷の問題は対立するコンセプトと捉えられがちであったが、家畜の能力を高めることで、生産性が向上し、その結果、相対的に環境負荷もまた低減できることになる。農家レベルからの方策は、畜舎の生ふん尿や堆肥化の過程で揮散されるアンモニアや窒素化合物の量を減らすこと、農地からの栄養素の揮散や溶脱を低減するために、効率よく堆肥や化学肥料の施肥し、作物による栄養素の吸収効率の向上を促進すること、農家全体の栄養素の利用効率や農家内での栄養素の内部循環を増加させて、栄養素の環境へ損失量の低減を図ることである。ま

た、法的な規制もきわめて有効な手段と考えられる。

最後に地域レベルでの重要な方策は、地域内での耕種農家と畜産農家の連携を強め、地域内での栄養素の利用効率と循環性を高めることである。また、堆肥の販売は、とりわけ収益性の低い畜産農家にとっては重要な収入源となっており、いかに地域内で堆肥の流通をスムーズにするかは、地域全体の農業にとって重要な課題と言える。また、家畜の偏在に伴うふん尿由来の環境負荷の地域格差も解決すべき課題の一つである。この問題に対する解決策の一つが、堆肥の広域流通の促進が考えられた。

#### (7) 目指すべき環境保全型家畜生産システムの提言

われわれが目指す環境保全型畜産が、飼養方式の違いや飼料生産環境の相違などからヨーロッパにおける有機畜産と必ずしも一致する必要はないが、環境保全型畜産が存立するかどうかは、それが経済的に成り立つかどうかである。ヨーロッパにおける有機畜産の経済性を調べた多くの研究によると家畜生産と作物生産に関する厳しい規制から生産量は20から30%低下することが知られており、農家経営が経済的に成り立つためには牛乳では20~30%、牛肉では20~50%の販売価格にプレミアムが付加されることが必要とされている。わが国でも、環境保全型畜産によって生産された畜産物にかなりのプレミアムが付加され、そのような畜産物を購入する消費者がどの程度いるかが環境保全型畜産の普及が普及できるかどうか決定すると推察される。

一方、経済性を多少犠牲にしても環境保全型畜産を目指すのは、深刻な畜産環境問題と早急な解決を模索する必要がある。そもそもヨーロッパにおいて畜産環境問題がクローズアップされるようになってきた背景には家畜から排泄された窒素由来の硝酸態窒素による地下水汚染がある。わが国では全国的にはいまだ地下水汚染は深刻な問題にはなっていないが、地域的には地下水の硝酸態窒素尿度が飲用基準を超えているところが数多く見つかっているところもある。さらに、第1章で述べられているように牛のような反芻家畜由来のメタンは地球温暖化の大きな原因因子の一つとなっており、これらのことを考えれば、環境保全型畜産への移行は進むべき方向としては間違っていない選択と考えられる。

環境保全型畜産が構築され存続されるには、生産者のみならず、消費者、流通業者、研究者ならびに政策決定者など多くの人々の理解と協力が不可欠である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計12件)

① Tabata Y.、Togo D.、Kitagawa M.、Oishi K.、Kumagai H.、Kume S. and Hirooka H. Nitrogen, phosphorus and potassium utilization and their cycling in a beef-forages production system. *Animal Science Journal*. 2008. (査読有) *In press*.

② Hirooka, H.、F. Terada and J. B. Liang. Development and evaluation of a model for prediction of fecal and urinary nitrogen excretions in cattle. *Livestock Science* 107:282-288. 2007. (査読有)

③ Kume S.、Nonaka K.、Oshita T.、Kozakai T.、Hirooka H. Effects of urinary excretion of nitrogen, potassium and sodium on urine volume in dairy cows. *Livestock Science* 115:28-33. 2008. (査読有)

[学会発表] (計21件)

① 田端祐介・北川政幸・大石風人・熊谷元・久米新一・広岡博之．粗飼料生産を伴う肉牛繁殖-肥育一貫システムにおける元素フロー量推定に伴う不確実性の評価．日本草地学会仙台大会．103．2008年3月25日．仙台市

② 田端祐介・北川政幸・大石風人・熊谷元・久米新一・広岡博之．粗飼料生産を伴う繁殖肥育一貫経営における窒素、リン、カリウム利用状況の把握．第108回日本畜産学会．演題番号X26-10．2007年9月26日．岡山市

③ 長命洋佑・仙田徹志・森佳子・斉藤武司・大西智司・広岡博之．肉用牛経営における家畜排泄物の処理・利用の規定要因に関する統計分析．日本畜産学会第107回大会．27-02．2007年9月27日．岡山市

[図書] (計1件)

① 広岡博之・久米新一・間藤 徹・稲村達也 (編) 農林統計出版．耕畜連携をめざした環境保全型畜産システムの構築とその評価．2009．206頁．東京．

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

廣岡 博之 (HIROOKA HIROYUKI)  
京都大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号：60192720

##### (2) 研究分担者

久米 新一 (KUME SHINICHI)  
京都大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号：90355454

守屋 和幸( MORIYA KAZUYUKI )  
京都大学・大学院情報学研究科・教授  
研究者番号：90159195

間藤 徹( MATOH TORU )  
京都大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号：50157393

北川 政幸( KITAGAWA MASAYUKI )  
京都大学・大学院農学研究科・准教授  
研究者番号：00144923

稲村 達也( INAMURA TATSUYA )  
京都大学・大学院農学研究科・教授  
研究者番号：00263129

仙田 徹志( SENDA TETSUJI )  
京都大学・学術情報メディアセンター・  
准教授  
研究者番号：00325325

池口 厚男( IKEGUCHI ATSUO )  
(独) 農業・食品産業技術総合研究機構・  
畜産草地研究所・畜産温暖化研究チー  
ム・上席研究員  
研究者番号：10222415

熊谷 元( KUMAGAI HAJIME )  
京都大学・大学院農学研究科・准教授  
研究者番号：50221940  
(平成 18 年度～平成 20 年度)

森 佳子( MORI YOSHIKO )  
島根大学・生物資源科学部・准教授  
研究者番号：40346375  
(平成 17 年度)

大石 風人( OISHI KAZATO )  
京都大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号：50452280  
(平成 19 年度～平成 20 年度)