

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2014～2016

課題番号：26520306

研究課題名(和文)ウシを利用した食料循環システムの構築と実現のための政策提案

研究課題名(英文) Development of sustainable agricultural cycling systems with cattle production and policy proposals for its achievement

研究代表者

廣岡 博之 (HIROOKA, HIROYUKI)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：60192720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ウシの生産は人間の食料を飼料として利用し、呼吸や糞尿は大気、土壌、水系の汚染源となっている。そこで実験的手法とシステム分析を用いて、食料循環システムの構築の可能性を検討した。食品製造副産物を利用した飼料と稲発酵粗飼料に適した飼料稲品種を提唱した。放牧肥育と慣行肥育を比較したシミュレーションの結果、放牧は経済性とメタン排出に劣るが、蛋白含量の少ない飼料米を用いることで窒素排泄を低減できることを示した。国家規模のモデルを用いた都道府県ごとの利益とメタン排出量との関係解析の結果、メタン排出量1kg低減が474円の経済的損失になることを示唆した。最後に窒素とメタン低減につながる政策について検討した。

研究成果の概要(英文)：Cattle production requires large amount of feed used as foods for human and causes unavoidable loss in respiration, feces and urine which may become an environmental burden as contributors to pollution of air, soil and water. Utilization of food processing by-products and reduction of environmental burden were investigated using experimental and systems approaches. Total mixed rations using by-products and recommended cultivar for whole rice crop silage were proposed. Simulation for comparison between year-round grazing and conventional beef fattening systems indicated that economic efficiency and methane emission were undesirable in grazing systems but nitrogen excretion may be reduced by using feed rice with lower CP content. The trade-off analysis between total profit and methane emission by prefecture showed economic loss caused by 1 kg decreased methane emission of 474 yen in Japan. Finally, available methane and nitrogen mitigation policy instruments in Japan were discussed.

研究分野：システム畜産学

キーワード：ウシ シミュレーション モデル 窒素 メタン 政策

1. 研究開始当初の背景

(1)家畜化されて以降、ウシは作物生産と結びつきながら、人間が食料として利用できない牧草や農業副産物を飼料として摂取し、乳や肉などの食料、さらには役力や肥料の供給源となつて、農業システムの中で重要な役割を果たしてきた。このような有畜農業においては、システム内の栄養素の循環性は高く、環境問題はほとんど生じなかった。ところが20世紀の半ばから、多くの先進国では人口増加による食料需要の増加とそれに伴う生産効率向上の必要性から、規模拡大と専門化が急速に進んだ。その結果、家畜生産と作物生産は分離して営まれるようになり、両者の間の資源循環は分断され、行き所を失った糞尿は深刻な環境問題を生み出すようになった。また、近年、日本各地で食品製造副産物が生産され、焼却処分するにしてもコストがかかるため、大きな問題となっている。

(2)このような問題を解決するためには、ウシ本来の特性を最大限に利用すべく、人間が利用できない農業副産物や食品製造副産物を飼料としてできる限り多く利用し、また作物生産のために化学肥料の代わりに多くの糞尿由来堆肥を土壤に還元することが必要となる。さらに、このような方向に農家を誘導するためには、対象とするシステム内から排出される余剰窒素(N)とメタン(CH₄)に着目し、栄養素循環の観点から農家に食料循環システムの構築を促すインセンティブを与える政策が必要と考えられる。

(3)そのような観点から、本研究では実験的なアプローチに加えて、生産モデルを用いたシステムアプローチを分析ツールとして利用して、ウシを利用した食料循環システムの生産性、収益性、環境負荷の比較を行った。

2. 研究の目的

(1)近畿地方(特に京都南丹地域)を中心に、乳牛や肉牛の生産に使えるような未利用・低利の地域産業副産物を探索し、飼料資材としての栄養価を明らかにするとともに、これらの飼料資材を用いて配合飼料の代替とする最適飼料設計を行う。また、養牛の飼料として稲発酵粗飼料(WCS)用飼料イネの導入の可能性についても検討を行う。

(2)肉牛の肥育生産を仮定して、生産システムの経済性と環境負荷を予測するシミュレーションモデルを開発し、そのモデルを用いて、穀物中心の配合飼料を濃厚飼料として給与する従来の生産システムと周年放牧して飼料米を利用する生産システムとを生産性、収益性、環境負荷の3つの側面から比較検討する。

(3)乳牛による酪農や肥育、肉牛による子牛生産と肥育に関して7つの生産システムを仮定して個体レベルのシミュレーションモデルを開発し、そのモデルから生産システム別に得られた生産物量(乳、子牛、枝肉)、収益、及び環境負荷量に統計資料から得られた都道府県別の頭数を乗じて地域ごとのトータルな利益と環境負荷量を算出し、国家レベルで両者の関係を明らかにし、それらの結果をもとに政策提案を行う。

3. 研究方法

(1)これまでと今回に収集した未利用・低利用の地域産業副産物の飼料資材に関する栄養価や安全性を調べて、その中で配合飼料の代替として使えるような飼料資材を選択した。また、機能性が期待できるワイン副産物の消化性、窒素出納、ポリフェノール含量とそれがもたらす機能性についても検討した。

(2)本研究では、「日本晴」(日本型)直播適性が高く良食味品種である「萌えみのり」(日本型)飼料用米およびWCS共用の飼料用イネ品種である「ホシアオバ」(日印交雑型)WCS用飼料イネ品種である「リーフスター」(日印交雑型)早生品種の「Kalo Dhan」(インド型)および「ARC 7291」(インド型)晩生品種の「Calotoc」(不明)および「Khuu Mac Kho」(熱帯日本型)8品種の栽培試験を2年間行い、晩期乾田直播条件下での収量、NSC蓄積、耐倒伏性の品種特性を調査した。

(3)肉牛の発育と飼料エネルギー摂取量、生産コストと枝肉価格、および窒素とメタン排泄量を予測するシミュレーションモデル(図1)を開発し、稲作副産物である飼料米を利用した放牧肥育生産と従来の慣行肥育生産を比較した。本研究では、トールフェスク主体の放牧で、肥育期間を通じて配合飼料を給与する生産システムと配合飼料の67%を飼料米によって代替する生産システムの2種の周年放牧肥育生産システムを想定した。また、放牧牛肉に消費者が45%のプレミアム価格で購買する場合の分析も行った。

(4)本研究では、わが国のウシ生産に対し、主要3品種からなる以下の7つのウシ生産システム(黒毛和種去勢肥育生産、黒毛和種未経産肥育生産、黒毛和種子牛生産、黒毛和種とホルスタイン種(以下、乳用種)の交雑種(以下、F1)去勢肥育生産、F1未経産肥育生産、乳用種去勢肥育生産、乳用種酪農生産(経産牛のみ))を分析対象とした。また、各ウシ生産の環境影響を評価する指標として、糞尿由来のN排泄量と消化管発酵由来CH₄排出量をそれぞれ推定した。さらに、各ウシ生産の経済性を評価する指標として、各ウシ生産より得られる利益を対象として推定を行った。

図1に本研究のモデルの概要を示す。まず各ウシ生産における個体シミュレーションモデルを作成し、飼養期間における体重や乾物摂取量の推移を推定し、それをもとに各環境負荷物質排出量と利益を算出した。本研究では、わが国の各ウシ牛生産における標準的な各環境負荷物質排出量および利益を算出するために、地方区分ごとの農林水産省(2016)や家畜改良事業団の統計値の生物学的・経済的平均値を入力値として用いた。さらに、各ウシ生産一頭あたりの各環境負荷物質排出量および利益に、都道府県ごとの各ウシ生産頭数を掛け合わせることで、都道府県レベルにおけるウシ生産からの環境影響または経済性の定量化を行った。最後に、全国における利益と各環境負荷物質排出量との関係性を示すために、2つのモデルを用いて回帰分析を行い、NあるいはCH₄の1kgがもたらす利益を算出した。

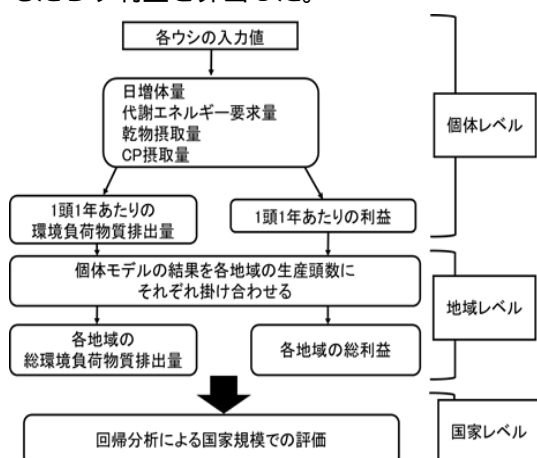


図1 モデルの概要(個体レベルのモデルから国家レベルのモデルへの拡張)

4. 研究成果

(1)本研究の栄養価と安全性のスクリーニングの結果、使えそうな飼料資材としてポテト加工残渣、醤油粕、豆腐粕、麺類規格外品、緑茶・ウーロン茶粕が選ばれた。用肉牛用飼料としては、育成用と比べて肥育用飼料では、ポテト加工残渣や豆腐粕の配合割合を減らし、麺類規格外品を増加させることで、高エネルギー高たんぱく飼料が作成できることが示された(表1)。また、乳牛用飼料としては、育成用は豆腐粕の割合を増やすことで比較的高タンパク、高エネルギー飼料の作成が可能であることが示唆された。また、ワイン澱の添加によって酸化ストレスの抑制が期待できることが示唆された。

(2)地上部乾物重に占める穂重の割合が小さい品種では、黄熟期には子実への同化産物の蓄積が停滞するため、高濃度の非構造性炭水化物を茎部に蓄積すると考えられた。一方、そのような品種は、在圃期間が長い場合、冬

表1 近畿地域で提供可能な肉用牛用飼料資材

飼料資材	育成用	肥育前期用	肥育後期用
ポテト加工残渣	23.8	14.3	-
醤油粕	9.5	9.5	9.5
豆腐粕	28.6	23.8	16.6
麺類規格外品	28.6	47.6	69
緑茶・ウーロン茶製造粕	4.8	-	-
第2リン酸カルシウム	4.8	4.8	4.8

参考文献 より

作である麦類の作期と競合する可能性がある。しかし、品種によっては、糊熟期に収穫することにより、在圃期間が短くとも、茎部に高濃度の非構造性炭水化物を蓄積する可能性が認められた。さらに、糊熟期では、地上部乾物重に占める穂重の割合が小さいことから、黄熟期に比べて倒伏が起きる危険性は低くなると考えられた。

(3)放牧肥育生産と慣行生産における経済性と環境負荷の比較は、表2に示すとおりである。枝肉単価は舎飼い肥育生産システムで最も高かったため、枝肉からの収益は舎飼い肥育生産システムが最も多く、放牧肥育生産システムはかなり少なかった。他方、生産費に関しては、慣行肥育生産システムが最も大きかった。しかし、同じ放牧肥育でも配合飼料を安価な飼料用米で代替えることで、大幅に飼料費を削減することが可能であった。枝肉価格と生産費の比で表される経済効率は、放牧肥育生産システム間では飼料米を用いたシステムが高かったが、慣行肥育生産システムと比べるとかなり劣っていた。しかし、消費者が放牧肥育牛肉に付加価値を認め、45%増しの価格で放牧牛肉を購入してくれるものと仮定した場合、算出された経済効率(プレミアム経済効率)はいずれの放牧肥育生産も慣行肥育生産システムよりも高くなった。環境負荷指標に関しては、消化管発酵由来メタン発生量は、慣行肥育生産システムが放牧肥育生産システムと比べて低かった。窒素排泄量は、粗蛋白質含量の低い飼料米を用いた生産システムが最も低かった。

(4)本研究で推定した各ウシ生産のトータル利益には大きな地域差が見られ、特に近畿地方においては多くの生産体系において一頭あたりの利益が高い傾向が見られた。また、各環境負荷物質排出量と利益との関係性を分析した結果、北海道は生産頭数が多く都府県と異なる傾向を示したため、都府県のみで分析した結果、相関係数は中程度となった(図2)。加えて、推定された回帰係数から、N排泄量およびCH₄排出量1kgあたりそれぞれ571円、474円の利益が得られることが示された。さらに、各都府県によって環境・経済効率は大きく異なり、兵庫県は各環境負荷物質あたりの利益が比較的高いことが示唆された(図2)。

表2 システム分析から得られた飼料米を利用した放牧肥育と慣行肥育の比較

	放牧肥育		
	飼料米なし	飼料米給与	慣行肥育
開始時日齢	330	330	298
終了時日齢	810	810	769
終了時体重(kg)	691	677	752
牧草摂取量(DMkg)	911	480	-
給与飼料量			
配合飼料(DMkg)	1869	656	2998
補助飼料(DMkg)	-	飼料用米(1335kg)	-
飼料利用効率(kg/Mcal)	0.0335	0.0357	0.0403
補助飼料利用効率(kg/Mcal)	0.0635	0.0543	0.0481
枝肉単価(円/kg)	1085	1090	1354
小売単価(円/100g)	292	293	364
価値付加枝肉価格(円) ¹	665,970	669,818	-
経済効率	0.85	0.91	1.14
価値付加経済効率 ¹	1.23	1.32	-
メタン排出量(kg)	107.0	90.3	87.1
窒素排泄量(kg)	90.3	60.2	65.4

¹ 消費者が放牧牛肉に45%の付加価値を付けて購入したと仮定した場合の価格
参考文献

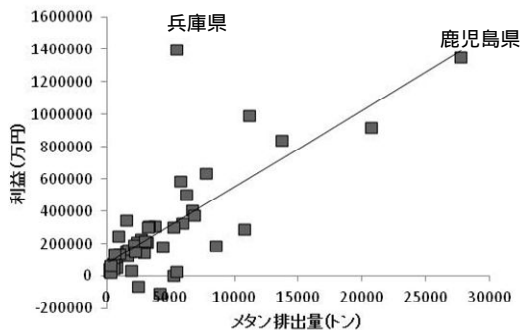


図2. 都府県でのメタン排出と利益の関係

(5)本研究では、ウシを利用した食料循環の視点から、人間が利用できない農業・食品製造副産物の活用と窒素やメタンなどの環境負荷物質の削減の可能性について検討した。しかし、このような成果を生産現場で役立つものにするためには、政策提言が必要となる。

農業・食品製造副産物を飼料資材として生成された飼料が畜産農家に普及するかどうかは、利用した飼料資材の栄養価が高く、安全で、かつ安価に供給されるかどうかにかかっている。その成功例として飼料用イネの活用があるが、これは国の補助金の下、生産する稲作農家が年々増加し、安価に畜産農家に供給されるようになったことがあげられる。また、もう一つの可能性として、利用されている飼料資材に高い機能性が確認されれば、畜産農家は進んでその飼料を家畜に給与すると考えられる。

窒素やメタンの削減に関しては、農家レベルで考える場合、農家はその削減策を導入するように誘導することが重要で、そのための

方策として導入しなかった場合に課金する方法と導入した場合には補助金を出す方法が考えられる。いずれの場合も、規則として義務を伴って強制的に実施する方法と農家の自主性を重んじる方法が考えられ、後者の方法として1998年から2005年までオランダで実施されたミネラル会計制度(MINAS)のような施策も考えられる。ミネラル会計制度では、農場への搬入と搬出された窒素やリンを農家が申告し、搬入と搬出量の差を余剰量として、その余剰量が定められた許容量を超えた場合に課金される制度である。この制度が導入された結果、酪農における窒素やリンの余剰量は有意に減少したとされている。このような制度を導入すれば、耕畜連携するなど農家が自ら創意工夫することで余剰量を減らすことができ、わが国でも大規模経営農家にはこの種の政策は有効であると考えられる。

「コモンの悲劇」の一種と考えられるメタンに関しては、特にウシの排出するメタンは測定が難しく、家畜レベルでの大幅な削減は期待できない。したがって、いくつかの方策を組み合わせるのが現実的である。本研究では、メタン1kg増加によってもたらされる利益は474円と算出したが、この数値は逆にメタン排出低減を実施したことにより経済的ロスと解釈でき、この数値を一つの基準としてメタン削減の制度設計が可能になることが期待される。すなわち、メタン削減が見込める方策を導入した場合にそれを導入のメリットと考え、そのような方策を導入した農家に補助金として経済的にロスした分を補填するなどが考えられ、導入農家が経営的に成り立つのではないかと考えられる。

課金や補助金以外のもう一つの方法として、人間が利用できない飼料資源を用い、環境負荷に配慮して生産された牛肉に消費者が付加価値を付けて高く買ってくれるような仕組みを構築することが考えられる。予備的な調査の結果、環境負荷を配慮した牛肉ならば、平均1.45倍の価格で購買してもよいと回答しており、その価格の上昇分が生産農家に還元されるならば、農家の経営は経済的にも成り立つと考えられる。

以上のように、資源循環の問題は、農家の収益と背反する可能性を秘めており、政策的な仕組みづくりが不可欠である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

広岡 博之、飼料の代謝率を考慮した放牧牛の牧草摂取量予測モデルの開発、日本畜産学会報、査読有、87巻、2016、339-344

<http://doi.org/10.2508/chikusan.87.339>

広岡 博之、中村 好徳、金子 真、家入 誠二、川本 康博、小林 良次、システム分析を利用した褐毛和種周年放牧肥育生産

システムの総合的評価、日本畜産学会報、
査読有、87 巻、2016、381-388

<http://doi.org/10.2508/chikusan.87.381>

長命 洋佑、広岡 博之、牛肉の購買行動
における消費者意識構造の把握 - 共分散
構造分析を用いた解析 -、農林業問題研
究、査読有、52 巻、2016、160-165

<http://doi.org/10.7310/arfe.52.160>

瀬戸口 暁、大石 風人、堺 久弥、北浦 日
出世、熊谷 元、家入 誠二、広岡 博之、褐
毛和種周年放牧肥育生産に関する LCA
による環境影響および経済性の評価、シ
ステム農学、査読有、32 巻、2016、57-69

http://doi.org/10.14962/jass.32.2_57
Yasuda K, Kitagawa M, Oishi K,
Hirooka H, Tamura T, Kumagai H.
Growth performance, carcass traits,
physiochemical characteristics and
intramuscular fatty acid composition of
finishing Japanese Black steers fed
soybean curd residue and soy sauce
cake. Animal Science Journal, 査読有,
87, 2016, 885-895

<http://DOI: 10.1111/asj.12510>

田中 貴、北脇 由布子、広岡 博之、稲村
達也、近畿地方の晩期乾田直播に適した
非構造化炭水化物の茎部高蓄積特性およ
び耐倒伏性を有するホールクロップサイ
レーズ用飼料イネ品種、日本作物学会紀
事、査読有、86 巻、2017、(掲載決定)
熊谷 元、乳肉生産における地場産飼料資
源の利用 近畿地方の事例と研究成果、
畜産技術、査読無、2016、4月号、2-9

[学会発表](計 8 件)

山田 佐和子、大石 風人、広岡 博之、わ
が国におけるウシ生産の環境・経済性の
同時評価手法の開発とその応用、システ
ム農学会 2016 年度秋季大会、東京、
2016 年 10 月 22 - 23 日

Sonoda Y, Oishi K, Kumagai H, Aoki Y,
Hirooka H. The association between
productivity and housing and
management practices related with
animal welfare in beef fattening. The
Asian Australasian Association of
Animal Production Society. Fukuoka,
August 22-25, 2016

中西 崇、王 琳、大石 風人、広岡 博之、
熊谷 元、ワイン澱の添加が濃厚飼料多給
条件下の in vitro 発酵特性および培養後
の脂肪酸組成に及ぼす効果、日本畜産学
会第 121 回大会、武蔵野市、2016 年 3
月 27 - 30 日

山田 佐和子、大石 風人、熊谷 元、広岡
博之、黒毛和種肥育生産における脂肪交
雑の増加様相と最適出荷日齢の関係、日
本畜産学会第 121 回大会、武蔵野市、
2016 年 3 月 27 - 30 日

Hirooka H. Incorporation of

environmental impacts for evaluation
animal production systems. The 5th
International Conference on
Sustainable Animal Agriculture for
Developing countries (SAADC 2015).
Pattaya, Thailand, Oct 27-30, 2015

Yamada S, Oishi K, Kumagai H,
Hirooka H. Quantification of
environmental impacts from dairy and
beef production on national scale in
Japan. The 66th Annual Meeting of the
European Federation of Animal
Science, Warsaw, Poland. August Aug
31-Sep 4, 2015

山田 佐和子、大石 風人、長命 洋佑、熊
谷 元、広岡 博之、わが国の肉牛・酪農
生産における飼料要求量の原単位の算出
方法に関する検討、日本畜産学会第 119
回大会、宇都宮市、2015 年 3 月 27-30
日

山田 佐和子、網島 貴生、大石 風人、熊
谷 元、広岡 博之、黒毛和種去勢肥育牛
の経済性と環境負荷を考慮した最適出荷
日齢の検討、システム農学会 2014 年度
秋季大会、京都市、2014 年 10 月 17 - 18
日

(1)研究代表者

廣岡 博之 (HIROOKA, Hiroyuki)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：60192720

(2)研究分担者

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

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

(3)連携研究者

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

長命 洋佑 (Chomei, Yosuke)

九州大学・大学院農学研究院・助教

研究者番号：10635965