研究論文

肉豚生産に伴う地球温暖化ガス排出量の推定

梁 瑞録・谷口 郁・川島 洋人・菊地 英治・相馬 隆雄

Estimation of Global Warming Emissions Associated with a Pig Production System by Life Cycle Assessment

Ruili LIANG, Kaoru TANIGUCHI, Hiroto KAWASHIMA, Eiji KIKUCHI and Takao SOMA

Synopsis: The objective of this study was to quantify the emission of global warming gasses associated with pig production during the breeding and fattening stages using the Life Cycle Assessment method for a Japanese farm producing approximately 3000 pigs/year. Emissions were investigated for the processes related to feed production and transport, animal management of the breeding and fattening stages, and the treatment of livestock waste. The functional unit was taken as one kilogram of pig meat. Emissions of CO₂, N₂O and CH₄ amounted to 4.07, 0.93 and 0.56 kg-CO₂ eq./kg meat, respectively, giving a total for these gases of 5.57 kg-CO₂ eq./kg meat. The emissions associated with the pig-fattening stage were 5.02 kg-CO₂ eq./kg meat, which accounted for 90% of total emissions in the pig production system. Interestingly, 70% of emissions could be attributed to feed production and transport processes, while only 8.6% of emissions could be attributed to activities related to animal management.

Key Words: Pig production, Feed production, Life Cycle Assessment (LCA), Environmental impact, Global warming gas emission

1. はじめに

日本の畜産は粗生産額ベースで農業全体の約4分の1を占めており、畜産による温暖化ガスの排出量も多い。その中で、N₂Oの排出量は日本全体のN₂O排出量の16.7%で、CH₄の排出量は39.7%もある¹⁾。このため、今後の日本の畜産を考える上でその環境負荷を明らかにしていく必要がある。

肉用畜産物の中で、牛に関するLCA研究は多くの論文が発表されている²⁻⁷⁾。また、豚については欧州での畜産システムでの研究が進んでいる⁸⁻¹²⁾。一方、日本では公害問題となるふん尿の処理に関するLCA研究論文¹³⁻¹⁴⁾は多数あるが、豚の繁殖、肥育を含めた肉用豚生産全体の環境評価に関する研究は進んでいない。特に、豚生産農家あるいは企業での実測データをベースとしたLCA研究は見当たらない。そこで本研究は、実働している養豚システムを対象として豚生産のインベントリ分析を行い、環境負荷評価を試みた。

2. データの収集および方法

2.1 システムの設定

本研究では、年間約3000頭の豚を生産している石川県

の中規模一貫経営養豚農家を対象として解析を行った。機能単位は精肉1kgとして計算を行った。対象とした肉豚の繁殖および肥育システムをFigure 1に示した。システム境界は豚の繁殖および肥育における家畜管理、摂取する飼料の生産と輸送、およびふん尿処理の各プロセスとした。また、養豚農家から屠場までの輸送、と殺及び枝肉・精肉過程での環境負荷は除いた。なお、家畜管理に係わる生産財の製造、豚舎の建設に関する環境負荷はシステム境界の外とし、考慮しなかった。

2.1.1 豚の生産フロー

肉豚の生産フローをFigure 2に示す。生まれてから23日までの哺乳期間は分娩舎で過ごす。その後離乳舎で50日、子豚舎で50日、最後に肥育舎で72日、そして肥育後出荷する。各種豚の頭数は最近3年の平均値で計算する。豚の総頭数は1992頭で、子豚と肥育豚は1820頭、雌親豚は172頭であった。この養豚農家の豚生産様式 (Table 1) は日本の代表的な生産様式モデル¹⁴⁾ とほぼ同様である。

2.1.2 豚の繁殖

繁殖豚 (親豚) のフローチャートをFigure 3に示す。

Figure 1. Pig production system and system boundary investigated in this LCA study

Table 1. Pig production system investigated in this LCA study

Development stage	Average weight (kg)	Percentage of number (%)	Percentage of weight (%)
Piglets	15	38.3	10.1
Growing finishing pigs	72.5	53.1	67.9
Developing gilts	85	1.8	2.7
Pregnant sows	154	5.4	14.6
Lactating sows	185	1.4	4.7

Figure 2. Flowchart showing stages of pig production

Figure 3. Flow of breeding sow

親豚の総頭数は172頭で、生まれてから8ヶ月後初回受精し、その後6度子供を産んだ後出荷する（肉豚と区別するため廃豚と呼ぶ）。一腹あたり産む子豚の頭数は平均10.4頭で、親豚1頭あたりの産む子豚の総頭数は平均62.4頭であった。親豚は妊娠豚、授乳豚、繁殖育成豚の全頭数に対する割合はそれぞれ5.4%、1.4%と1.8%であった。毎月廃豚となった親豚は7頭程度であった。

親豚は生まれてからの8ヶ月間は育成期とし、その後の28ヶ月間は繁殖期とする。親豚は生まれてから約3年後に肉豚として出荷されるので、その総環境負荷も精肉と子豚の繁殖に配分する必要がある。親豚からの精肉1 kgあたりの環境負荷は肉用豚の精肉1 kgあたりの環境負荷を同じとして計算し、それ以外の部分は子豚1頭あたりの繁殖の環境負荷（子豚が生まれるまでの環境負荷）として算出する。

2.1.3 肉豚の肥育

肉豚の肥育のフローチャートをFigure 4に示す。肉豚の頭数は1820頭であり、生まれてから195日で出荷する。出荷される豚の体重は平均で115 kgであった。体重30 kgまでは子豚とし、30 kg以上は肥育豚とする。子豚および

Figure 4. Flow of pig fattening

肥育豚の全頭数に対する割合はそれぞれ38.3%、51.3%であった。環境負荷を計算するとき、子豚の繁殖と区別するため肉豚が生まれてから哺乳期間を含めてすべての期間を豚の肥育期間として計算した。

2.2 インベントリ分析

解析対象の環境負荷物質は、温暖化ガスである二酸化炭素 (CO_2)、亜酸化窒素 (N_2O)、メタン (CH_4) とした。

飼料生産および輸送、家畜管理、ふん尿処理の4つのプロセスにわけ、それぞれの環境負荷を求めた。まず、子豚1頭あたりの繁殖環境負荷と肉豚1頭あたりの肥育環境負荷を算出し、その合計を肉豚1頭あたりの総環境負荷とした。そして、出荷された豚が解体され精肉として販売される精肉1kgあたりの環境負荷を算出した。豚1頭の精肉歩留まりは49.0%とした¹⁵⁾。

Table 2. Feed consumption of fattening pig

Feed number	Body weight (kg)	Feed consumption	
		Weight (kg)	Percentage (%)
3	3~5	2.0	0.7
5	5~6	1.5	0.5
6	6~7	2.0	0.7
7	7~10	4.7	1.6
10	10~35	47.0	15.9
40	35~50	37.0	12.5
80	50~115	201.0	68.1
Total		295.2	100.0

2.2.1 飼料

肉豚が生まれてから出荷するまでの各段階の飼料消費量をTable 2に示す。成長に合わせて7種類の飼料を与え、1頭が出荷されるまでの消費量は295 kgであった。親豚には妊娠期間と授乳期間で異なった2種類の飼料を与える。親豚1頭が廃豚になるまでに消費する飼料の総量は2227 kgであった。

飼料は大手飼料メーカーA社の製品であり、飼料3号、5号、6号及び7号の合計消費量は総消費量の4%未満であり、また、これらの飼料の組成は10号飼料と近いので、10号飼料として計算した。飼料の主な組成はTable 3に示す。なお、環境負荷を計算するとき、表に載せた主成分以外の少量成分は0として計算した。

飼料はトウモロコシ、大豆、ふすまから製造されるものとして計算した。飼料のこれら原料は日本の貿易統計から100%アメリカ合衆国で生産・輸入されたとする。飼料生産については、まず飼料原料となる各作物の生産に要する燃料、電力およびガスなどの直接エネルギーと農業資材などの投入に由来する間接エネルギーの消費量をもとめ、原料生産の温暖化ガス排出量を計算した。各原料の生産におけるエネルギー消費量についてはPimentel¹⁷⁾の報告している値を用いて温暖化ガス排出量を求めた。間接エネルギーについては、アメリカ合衆国における各燃料の消費割合に基づいて合成した発生係数を消費量に乗じて各温暖化ガス排出量を算出した。Pimentel¹⁷⁾が編集した文献には立地、灌漑条件の異なる33カ所の生産データがあり、投入する直接および間接エネルギーの量は異なるので、すべてのデータの平均値を用いた。また、飼料畑の土壌から発生する N_2O の量は、施用された化学肥料に含まれる窒素量の0.5% ($\text{N}_2\text{O-N}$ として)が発散するというEichner¹⁸⁾の報告から算出した。なお、原料から飼料を製造する段階においてエネルギー消費量の大きい工程は原料の粉碎、選別、混合、異物除去などである。これらの生産工程で消費されるエネルギーによる環境負荷、および生産設備製造、工場建設に伴い発生する環境負荷は原料生産の環境負荷に比べて2%以下であり非常に小さいため本研究では無視した。

Table 3. Main feed ingredients for pigs and breeding sows

	Feed number	Feed consumed (kg)	Percentage (%)			Weight (kg)		
			Corn	Soybean	Wheat bran	Corn	Soybean	Wheat bran
Fattening pig	10	57.2	63.0	37.0	0	36.0	21.2	0
	40	37.0	75.3	24.7	0	27.9	9.1	0
	80	201.0	88.5	11.5	0	177.9	23.1	0
Breeding sow	73	1552.0	63.4	15.1	21.5	985.0	234.0	333
	78	675.0	69.5	30.5	0	469.0	206.0	0

飼料原料の輸送は、米国の中部コーンベルト地帯からミシシッピー川流域まで200 km陸上輸送され、そこからのニューオーリンズを経由して名古屋まで18,180 km船舶輸送されたとする³⁾。さらに、名古屋から飼料生産工場まで20 km、工場から石川県の畜産農家まで250 kmそれぞれトラック輸送されたものとした。これらからの環境負荷物質の排出量はLCAソフトウェアJEMAI-LCA Pro¹⁹⁾を用いて求めた。

2.2.2 家畜管理

家畜管理については、畜舎における照明、用水、飼料調製、暖房、ふん尿搬出 (Table 4) 等の電力消費、暖房によるLPガス消費、豚、飼料の移動に伴うトラックの軽油消費量 (Table 5) から環境負荷物質排出量を求めた。このプロセスでもLCAソフトウェアJEMAI-LCA Proを用いて求めた。

2.2.3 ふん尿処理

ふん尿処理は、連続曝気による活性汚泥法、堆肥化を行っている。ふん尿、及びふん尿処理からの温暖化ガスの排出量は長田¹³⁾の研究結果 (Table 6) を参考にし、畜舎

からの発生、污水处理過程からの発生、堆肥化過程からの発生に分けて推定した。Table 6は豚体重20 kg ~ 80 kgの8週間肥育期間の豚舎、污水处理及び堆肥化過程から発生したN₂OとCH₄の実測値の平均値である。そして豚の肥育期間のふん尿排出量とこの8週間のふん尿排出量の比で温暖化ガス排出を推定した。なお、ふん尿処理における作業機械により消費されるエネルギーは少ない上に家畜管理段階に消費されるエネルギーと区分することが困難なため、それに伴う温暖化ガス排出量は家畜管理に入れて計算された。

2.3 影響評価

CO₂以外の温暖化ガスの地球温暖化への影響は、各温暖化ガス排出量に地球温暖化係数を乗じることで二酸化炭素相当量を求め、評価した。なお、この係数には、IPCC (2001)¹⁶⁾によるCO₂ = 1、N₂O = 296、CH₄ = 23という値を用いた。

3. 結果および考察

肉豚の繁殖および肥育段階の各プロセスからの温暖化ガスの排出量をTable 7とTable 8に示した。肉豚1頭あた

Table 4. The type and quantity of heating used for animal management

Heater type	Energy type	Max power (kcal/h)	Quantity
Infrared heater	Electricity	260	35
Propane heater	LPG	1800	48

Table 5. Energy consumption for animal management (for one month)

Energy type	Unit	Consumption
Electricity	kWh	12392
LPG	kg	642
Diesel	L	50

Table 6. Global-warming emissions from waste treatment process in a fattening period of 8 weeks with the pig weight of 20-80 kg

Gas emissions from	Average gas emissions (g / per pig)	
	N ₂ O	CH ₄
Pigsty	9.1	302.0
Wastewater purification	24.1	4.6
Composting	6.4	129.0
Total	39.6	435.6

Table 7. Global-warming emissions of piglet breeding system (kg CO₂-eq./per piglet)

Gas	Feed production	Feed transport	Animal management	Waste treatment	Total
CO ₂	13.63	6.50	1.83	0.00	21.96
CH ₄	0.03	0.01	0.00	3.45	3.50
N ₂ O	1.59	0.04	0.02	4.03	5.69
Total	15.25	6.56	1.85	7.49	31.14

Table 8. Global-warming emissions of fattening pig system (kg CO₂-eq./per pig)

Gas	Feed production	Feed transport	Animal management	Waste treatment	Total
CO ₂	125.70	57.13	24.77	0.00	207.60
CH ₄	0.23	0.11	0.01	27.76	28.11
N ₂ O	13.79	0.39	0.28	32.52	46.97
Total	139.71	57.62	25.06	60.28	282.68

Table 9. Global-warming emissions from pig production (kg CO₂-eq./kg meat)

Gas	Feed production	Feed transport	Animal management	Waste treatment	Total
CO ₂	2.47	1.13	0.47	0.00	4.07
CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.55	0.56
N ₂ O	0.27	0.01	0.01	0.65	0.93
Total	2.75	1.14	0.48	1.20	5.57

Figure 5. Emissions of global warming gases in pig production system (kg CO₂-eq./kg meat)

りの繁殖および肥育による温暖化ガスはそれぞれ31、と283 kg-CO₂ eq.であった。繁殖期間の温暖化ガスの排出量は総排出量の10%であった。家畜管理では子豚繁殖による温暖化ガスの排出量は総排出量の7%であり、各プロセスの中でもっとも少なかった。

各プロセスからの温暖化ガスの排出量をTable 9およびFigure 5に示した。精肉1 kgあたりの温暖化ガスの総排出量は5.57 kg-CO₂ eq.であった。温暖化への寄与が最も大きいプロセスは飼料原料の生産であり、全体の50%を占めていた。また、CO₂は全体の73%を占めており、N₂OとCH₄はそれぞれ全体排出量の17%、10%であった。飼料生産・輸送、家畜管理のプロセスから発生する温暖化ガスの殆どはCO₂であった。CH₄は殆どふん尿処理のプロセスからの排出であり、N₂Oはふん尿処理のプロセスからの排出および原料生産段階での飼料畑に施用された化学肥料からの発散によるものであった。

飼料生産及び輸送による温暖化ガスの排出量が精肉1 kgあたり3.89 kg-CO₂ eq.であり、肉豚生産の温暖化ガスの総排出量の70%は飼料によるものであることがわかった。家畜管理に係わる排出量は8.6%で比較的小さい。

本研究で求められた精肉1 kgあたりの温暖化ガスの総

排出量5.57 kg-CO₂ eq.という値と欧州での同じ生産方式、同様な研究範囲の温暖化ガスの総排出量とを比較してみた。フランスでの研究⁸⁾は飼料の生産と輸送、家畜管理、ふん尿処理および豚舎建設のプロセスを研究範囲としている。豚舎建設による温暖化ガス排出量(0.03 kg-CO₂ eq.)を除いた総排出量は4.66 kg-CO₂ eq.であり、本研究で求められた値よりやや小さい。この差の原因としては、飼料原料の生産条件の違いが考えられる。すなわちフランスでの肉豚生産は3分の2以上の飼料原料はフランス国内生産とし、飼料生産及び輸送による暖化ガスの排出量が2.53 kg-CO₂ eq.であり、総排出量の54%と本研究の同プロセスからの排出量より小さいことが一因と考えられる。

本研究の結果、日本の豚肉生産により発生する地球温暖化ガスは飼料の原料生産・輸送に係わる割合が70%と大部分を占めており、家畜管理に係わる割合は8.6%と比較的小さいことが分かった。このことから養豚業において温暖化ガス排出量低減のためには温暖化ガス発生量の少ない飼料への転換、飼料原料の輸送距離の短縮、ふん尿処理においてCH₄とN₂Oを発生させない、あるいは大気に拡散させない処理の開発と採用が望まれる。特に飼料の原料生産に係わる温暖化ガス発生問題は重要であり、その現状発生量について正確な見積もりと発生量を低減する生産方法への切り替えが重要である。米国での飼料原料生産による温暖化ガス発生量については、本研究でデーターを用いたPimentel¹⁷⁾の報告以降多くの研究報告^{21, 22)}がなされている。これらの報告では温暖化ガス発生量の値は異なるものの、窒素成分を主とした化学肥料の合成に係わる割合が最も大きい点では一致している。このため、主として農業や畜産業から派生する廃棄物起源の有機肥料による化学肥料代替が地球温暖化ガス発生量の低減に有効と推定される。また飼料原料を海外からの輸入に頼り遠距離の輸送を行わなければならない点は本質的な問題であり、国内での飼料原料確保の推進が望まれる。

4. おわりに

食品の問題は消費者の立場からは健康・安全性の問題、購入価格と嗜好の問題、また日本ではその多くを輸入に頼っているため、有事の食料安全保障の問題としてとらえられてきた。生産者の立場からは、市場競争に勝ち残れる低コストで良品質の食品を生産するための経営に多くの課題がある。今までは農業問題は主にこうした消費者と生産者の関係において論じられて来たが、環境問題特に地球温暖化が現実の新たな問題として人類の前に立ちはだかつてきている現在、地球温暖化物質の排出を低減する食料生産手段を真剣に考えなければならない状況にある。

現在の日本の養豚業においてはコスト重視のため飼料を輸入に頼っているが、地球温暖化防止の観点からは主要な温暖化ガスであるCO₂発生の少ない飼料の確保を国内地域農業の重点課題として取り組む必要があると思われる。

謝辞

本研究の推進に際して、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所の荻野暁史氏には、貴重かつ有益な情報・意見の提供や参考資料の紹介等において多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 独立行政法人国立環境研究所：“日本国温室効果ガスインベントリ報告書”，(2006)
- 2) 荻野暁史：“LCAを用いた肉用牛生産の環境影響評価～温暖化ガスを中心に～（日本LCA学会食品研究会平成17年度報告書），(2006)，pp.50-54
- 3) Ogino A., Kaku K., Osada T., Shimada K.: J. Anim. Sci., 82, (2004), pp.2115-2122
- 4) Masuda K., Takahashi Y., Yamamoto Y., Demura K.: J.JASS, 21 (2), (2005), pp.99-112, (増田清敬, 高橋義文, 山本康貴, 出村克彦：システム農学誌, 21 (2), (2005), pp.99-112[in Japanese])
- 5) Hospido A., Moreira M.T., Feijoo G.: International Dairy Journal, 13, (2003), pp.783-796
- 6) 林孝：“肉牛生産のLCAと環境影響評価（農業環境研究叢書第12号）”，(2000)，pp.100-115
- 7) Casey J.W., Holden N.M.: Agricultural Systems, 90, (2006), pp.79-98
- 8) Basset-Mens C., van der Werf H.M.G.: Agriculture, Ecosystems and Environment, 105, (2005), pp.127-144
- 9) Blonk H., Lafleur M., van Zeijts H.: “Appendix 4 of the Report. IVAM Environmental Research”, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands, (1997)
- 10) Carlsson-Kanyama A.: “Technical Report 26” ISSN1104-8298. Department of System Ecology, Stockholm, Sweden, (1998)
- 11) Cederberg C.: Ph.D. thesis, Department of Applied Environmental Science, Goteborg University, Goteborg, Sweden, (2002)
- 12) Nielsen P.H.: “LCA Food database”, Danish Institute of Agricultural Sciences, (オンライン), 入手先 <<http://www.lcafood.dk>>, (参照2006-11-27)
- 13) 長田隆：“豚のふん尿処理に伴う環境負荷ガスの発生（畜産草地研究所研究報告）”，(2002)，pp.15-62
- 14) 畜産環境対策技術評価手法検討委員会：“環境負荷と運転費用の観点からの畜産環境対策施設評価プログラムの開発－養豚編－（畜産草地研究所研究報告）”，(2005)
- 15) 農林水産省生産局畜産部食肉鶏卵課，“食肉便覧”，中央畜産会，東京，(2006)，p.114
- 16) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): The Scientific Basis. Cambridge University Press, Port Chester, NY, USA, (2001)
- 17) Pimentel D.: “Handbook of Energy Utilization in Agriculture.” CRC Press, Boca Raton, FL, USA, (1980)
- 18) Eichner, M. J.: J. Environ. Qual. 19, (1990), pp.272-280
- 19) 社団法人産業環境管理協会：“JEMAI-LCA Pro”，(2004)
- 20) UNCTAD (Ed.): “A Manual for the Preparers and Users of Eco-efficiency Indicators”, Version 1.1, UNCTAD/ITE/IPC/2003/7, United Nations, New York and Geneva (2004)
- 21) Seungdo K., Bruce E.D.: Journal of Industrial Ecology, 7 (3-4), (2004), pp.147-162
- 22) Cerhard P., Laura J.S.: Journal of Industrial Ecology, 10 (1-2), (2006), pp.149-167