

1. 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

近年、フードマイレージが話題となり、食品の輸送による環境負荷が指摘されている¹⁾。食の環境意識が高まる中で、食品の生産活動に関する研究も多くなされている²⁾。このように生産や輸送について注目される一方で、卸売や店舗販売の負荷はあまり検討されていない。しかし食品の流通は、冷凍・冷蔵も多いため他の流通よりも環境負荷が高い可能性があり、検討が必要である。

1.2 既存研究の概要

これまで食品のうち生鮮野菜の流通については多くの研究がなされている。しかし食肉については、ある程度流通量があるにもかかわらず、評価事例は少ない。その中で食肉の生産に関する LCA を行った研究はいくつか見られる。例えば、荻野³⁾は肉牛生産における環境負荷を評価している。また谷口ら⁴⁾は肉豚生産における環境負荷を評価している。しかしこれらの研究は生産から出荷におけるプロセスまでしか評価していない。一方、Roy ら⁵⁾は肉牛、肉豚、鶏肉生産において消費も含めて環境負荷を評価しているが、各プロセスにおける環境負荷全体をカバーできていない。また店舗販売の負荷を詳細に評価した研究は見当たらない。

1.3 研究の目的

そこで、本研究では食肉について LCA を実施し、各プロセスにおける環境負荷を把握することを目的とする。特に流通の負荷の寄与に注目する。また、販売時の負荷における計算方法を新たに検討する。

2. 研究手法の概要

2.1 LCA の考え方と本研究の実施範囲

LCA (Life Cycle Assessment) は、対象とする製品・サービスに関する資源の採掘・素材製造から、製品生産、使用・廃棄段階まで、ライフサイクル全体を考慮し、資源消費量や排出物質を算出するとともに、その環境への影響を評価する手法である。一般に LCA では (1) 目的と調査範囲の設定、(2) インベントリ分析、(3) ライフサイクル影響評価、(4) ライフサイクル解釈の順に分析を進める。

2.2 機能単位とシステム境界

評価する機能単位を「食肉 1kg の供給」とする。対象とする食品は、牛肉、豚肉とする。それぞれ産地で肥育された食肉が販売されるまでを評価範囲とする。

システム境界を図 1 に示す。

2.3 分析対象

評価対象には機械設備などの建設にかかる固定資本分を含めず、食肉の生産、屠畜・卸売、小売、輸送、廃棄物処理とした。評価項目は、温室効果ガス排

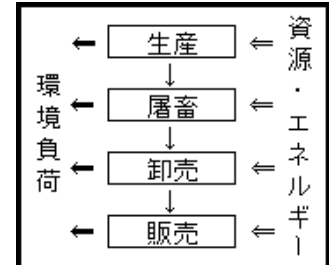


図 1 本研究のシステム境界

出量 (以下、GHG 排出量と略記)、廃棄物処分量、化石燃料消費量とし、影響領域は、地球温暖化、廃棄物処分、化石燃料資源消費とする。なおカーボンニュートラルの観点から、バイオマス由来の CO₂ は対象外とした。また廃棄物発生量についても分析する。

2.4 分析方法

本研究では積上げ式を採用しデータ処理は Excel を使用した。屠畜・卸売、小売、包装材、輸送のデータは、ヒアリングおよび質問紙調査を実施して収集・設定し、それ以外は既存文献のデータを使用した。各種原単位は LCA 支援ソフト JEMAI-LCA Pro および産業環境管理協会が公開しているデータベース LCA 日本フォーラムの 2012 年度版 3 版を用いた。

3. プロセスデータの収集

3.1 生産

肉牛・肉豚の生産には荻野³⁾、谷口ら⁴⁾が行った研究から引用した。肉牛・肉豚の 1kg の生産におけるプロセスデータを表 1 に示す。この値は各大気圏排出量を特性化したものだったので、各項目の分析では GHG 排出原単位で除した値を使用した。また、廃棄物発生量や堆肥の使用時の負荷については、既存研究には記載がなかったため、評価対象外とした。

表 1 肉牛・肉豚 1 頭当たりの GHG 排出量 (kg-CO₂/頭)

肉牛1頭	飼料生産	飼料輸送	家畜管理	舎畜	糞尿処理	計
CO ₂	1280	814.00	27.00	0	0	2121
CH ₄	0	0.00	0.00	2851	137	2988
N ₂ O	323	46.00	1.00	0	480	850
計	1603	860	28	2851	617	5959
肉豚1頭	飼料生産	飼料輸送	家畜管理	舎畜	糞尿処理	計
CO ₂	125.7	57.13	24.77	0	0	207.6
CH ₄	0.23	0.11	0.01	0	27.76	28.11
N ₂ O	13.79	0.39	0.28	0	32.52	46.98
計	139.72	57.63	25.06	0	60.28	282.69

3.2 屠畜・卸売

一般的に、牛肉や豚肉の屠畜・解体と卸売は同じ施設で行われる作業であるため、本研究ではこれらをまとめて屠畜・卸売段階とする。屠畜・卸売については

2 市場にヒアリング・質問紙調査を行い、プロセスデータを収集した。ヒアリングより、牛肉と豚肉の投入エネルギーおよび廃棄物は案分することが難しいと考えられたため、牛肉と豚肉を合わせて食肉 1kg あたりの原単位とした。ヒアリングにより得られた資源・エネルギー投入量と廃棄物量を年間の食肉の販売量で割ることで食肉 1kg あたりの値とした。屠畜・卸売のプロセス範囲を図 2 に、食肉 1kg の屠畜・卸売の原単位を表 2 に示す。

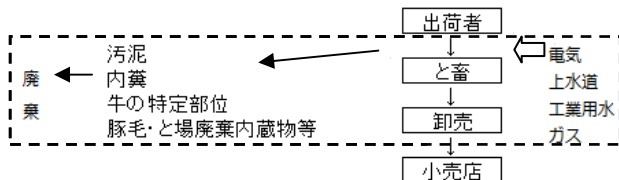


図 2 屠畜・卸売のプロセス範囲

投入	項目	単位	値
	電力	kWh	0.383
	ガス	m ³	0.048
	上水道	m ³	0.002
	工業用水道	m ³	0.021
排出	汚泥	kg	0.065
	堆糞	kg	0.035
	特定部位	kg	0.058
	豚毛・内臓廃棄物	kg	0.017

表 2 屠畜・卸売の食肉 1kg の原単位

3.3 店舗販売

店舗販売の負荷計算手法の検討は、宝大寺⁶⁾、本下⁷⁾らが行っている。前者は面積と販売量によって消費電力を按分しているが、この電力量は実測値ではない。後者は照明・空調・ケースでの電力消費に分け、商品単価で按分したものに、電力のCO₂排出原単位を乗じ、購入金額あたりのCO₂排出量を計算している。この手法は、原単位が金額ベースであるため、市場における負荷量の検討などには有効であるが、個々の商品の包装材の生産や陳列時の負荷などを検討する際には不向きである。またいずれも対象商品の調査事例ごとの売上の大小によって計算結果が変化し、安定した原単位にならない可能性がある。

そこで、本研究では新たな調査方法と計算手法を検討する。プロセスデータの収集のため、3 店舗の食料品を中心に扱うスーパーマーケットにある食肉販売店をそれぞれ対象としてヒアリング・質問紙調査を行った。またそのうち 2 店舗ではクランプ計による消費電力の実測調査を行った。クランプ計によって直接計測できなかった一部のショーケースについては、文献⁸⁾より電力量を求めた。また、ショーケース、肉売り場、バックヤードの照明の電力をそれぞれ測定し、点灯時間に乗じることで照明の電力量を求めた。図 3 に店舗販売のプロセス範囲を、表 3 に各店舗における面積と電力量を示す。

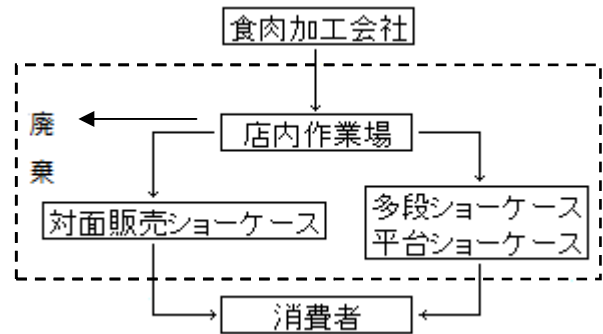


図 3 店舗販売のプロセス範囲

表 3 各店舗における面積と電力量

		B-1	B-2	B-3
店舗総床面積	m ²	330	300	500
ショーケース動力	kWh/d	64.60	53.28	99.89
ショーケース照明	kWh/d	15.84	15.84	15.84
バックヤード動力	kWh/d	42.92	42.92	42.90
バックヤード照明	kWh/d	15.35	16.53	14.11
売り場照明	kWh/d	10.04	14.24	12.12
合計 (照明の合計)	kWh/d	148.74 (41.23)	142.80 (46.60)	184.86 (42.07)

この調査方法では、先に述べた既存研究の問題点を解決できるとともに、さらに次のようなメリットがある。店舗における省エネの取り組みとして、ナイトカバーの設置があるが、それによる夜間の電力量の変化を正確に把握できる。店舗設備をエネルギー効率の良いものに替えた時、例えば照明を白熱球から LED に替えた時に、どれくらいの影響があるか評価できる。設備の定格電力と実測値を比較することで、新たに設備を設置した時の消費電力量が推計できる、などが挙げられる。

しかし毎回測定するのは煩雑であるため、以上の調査方法を踏まえて簡易的な計算方法を検討する。店舗規模がある程度一定であれば、それに伴う設備の大きさや規格はおよそ同じと考え、肉売り場面積あたりの設備のエネルギーを求めることにした。しかし、肉売り場面積は、コーナーにあるかどうか、また平台ケースの配置によって面積の判断が難しいため、今回は店舗総床面積を使用した。表 3 によると、店舗総床面積に関わらずバックヤードの電力量はほとんど変わらないことから、3 店舗のバックヤード電力量の平均値を定数として、実測調査をした B-1 店と B-3 店の面積当たりのショーケースと売り場照明の電力量の平均値から一日にかかる店舗での電力量原単位を求めた。以下に、その式を示す。

[一日の店舗の電力量 kWh/d]

$$= 58.24 (\text{kWh/d}) + 0.265 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{d}) \times [\text{店舗総床面積 m}^2]$$

LCA による評価を実施する場合、1kg の食肉の販売にかかる負荷は、上記の原単位式で計算される数値を一日の食肉の販売量で除すことで求めた。また、この式に

それぞれの店舗総床面積を当てはめて計算したところ、B-1店から順に電力量(kWh/d)は145.7、137.7、190.7となり、誤差は2.7%、3.7%、3.1%となった。

3.4 包装材

各プロセスで使用される包装材をヒアリングに基づき設定した。販売店舗の仕入れには段ボールを使用し、陳列にはトレイとラップ、対面販売では紙の台紙を使用するものとした。それぞれの重量を実測し、食肉1kgあたりの包装材の重量を求めた。

3.5 輸送

輸送距離、形態および生産地から小売店までの燃費についてはヒアリングに基づき設定した。ヒアリングより、生産地から卸売市場までは生体で輸送され、卸売市場から食肉流通業者までは枝肉で輸送されるものとした。生体の重量は東京都中央卸売市場⁹⁾のデータより、枝肉の重量は質問紙調査により設定した。それ以外の数値については既存研究より設定した。表4に牛肉・豚肉の輸送シナリオを示す。なお、ヒアリングより、豚肉の仕入れの回数は牛肉の3倍と設定し、積載量に反映した。

表4 輸送シナリオ

	地点A	地点B	距離 [km]	積載量		燃費 [km/L]	燃料消費 [L/kg]
				[頭]	[t]		
牛肉	生産地	卸売市場	500	10	7.3	5	2.86E-02
	卸売市場	流通業者	50	5	2.1	7	6.73E-03
	流通業者	小売店	100	—	1.8	6.6	8.42E-03
	卸売市場	処分場	50	—	3.6	3.2	8.68E-03
	小売店	処分場	10	—	3.6	3.2	1.74E-03
豚肉	地点A	地点B	距離 [km]	積載量		燃費 [km/L]	燃料消費 [L/kg]
				[頭]	[t]		
	生産地	卸売市場	500	50	6.5	5	3.08E-02
	卸売市場	流通業者	50	10	0.8	7	1.76E-02
	流通業者	小売店	100	—	0.7	6.6	2.53E-02
卸売市場	処分場	50	—	3.6	3.2	8.68E-03	
小売店	処分場	10	—	3.6	3.2	1.74E-03	

3.6 廃棄・リサイクル

各プロセスにおける廃棄物発生量および処分にかかるエネルギーはヒアリング・質問紙調査に基づき設定した。生産では家畜から発生する糞尿はすべて堆肥化するものとして、廃棄物処分量は0とする。屠畜・卸売では脱水汚泥は有機性汚泥処理により、乾燥させたものを埋め立てるものとする。なお、乾燥させた廃棄物にふさわしい体積の原単位がなかったため、焼却灰で代用した。また、廃棄内臓物等は焼却処理し、焼却灰を埋め立てるものとする。店舗販売では牛肉のみトリミングによる廃棄物が発生している。包装材については、トレイの廃棄・リサイクルの負荷は既存研究¹⁰⁾の値を引用した。トレイは19%がマテリアルリサイクルされるものとし、1%をリサイクル残渣とした。回収されないトレイ、食肉を包装するラップ、包装台紙はそれぞれ焼却処理し、焼却灰を埋め立てるものとする。輸送に使用される段ボールは100%リサイクルされて

いるものとした。包装台紙は一般廃棄物の燃焼の原単位を用い、トレイとラップはプラスチックの燃焼の原単位を用いた。

4. 分析結果

4.1 廃棄物発生量

食肉1kgあたりの廃棄物発生量を図4に示す。

牛肉の廃棄物発生量は店舗販売、屠畜・卸売、包装材の順で量が多い。ただし今回の調査では食肉流通業者の調査ができなかったため、ルートにより卸売市場と店舗販売の間で食肉の移動が増えるたび、それに伴う段ボールなどの包装材が増える可能性がある。また、店舗販売においてもレジ袋や小分けのビニール袋の枚数が増えることでも包装材の増大につながる。

豚肉の廃棄物発生量は屠畜・卸売と包装材によるもので、店舗からは排出されなかった。今回のヒアリングでは、仕入れられたブロック肉では牛肉は脂が多く、脂をトリミングしているのに対して、豚肉はほぼそのままスライスしており廃棄物がないとのことからこのような結果となった。

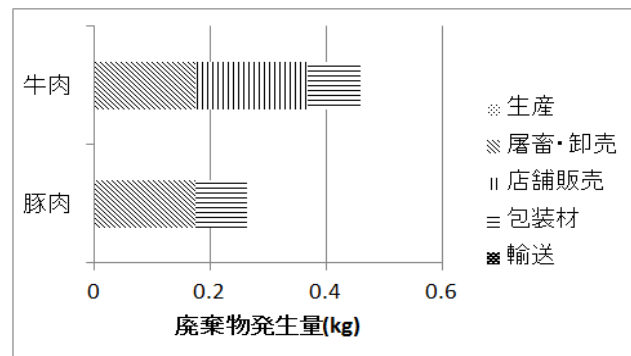


図4 廃棄物発生量の内訳

4.2.1 GHG 排出量

牛肉、豚肉1kgあたりのGHG排出量を図5に示す。GHG排出量の合計は牛肉で13.6kg、豚肉で4.03kgとなった。生産の割合が多く、牛肉の場合88%、豚肉の場合54%が生産によるものとなった。豚肉に比べ、牛肉の方が生産の割合が高いのは、牛の体内から発生するCH₄の量が多いためである。なお特に豚については輸送を除く流通も31%と無視できない割合を占めている。また、屠畜・卸売と廃棄・リサイクルの割合はほぼ同じで、屠畜・卸売のエネルギーは変化の幅が少ないと考えられるが、廃棄・リサイクルについては流通プロセスが増えるほど、それに伴う廃棄物が増え、燃焼によるエネルギーが増える可能性がある。

4.2.2 廃棄物処分量

牛肉、豚肉1kgあたりの廃棄物処分量を図6に示す。廃棄物処分量の合計は、牛肉で $2.88 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ 、豚肉で $1.93 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ となった。屠畜・卸売で発生する脱水汚泥による廃棄物は焼却灰で代用したため、屠畜・卸売

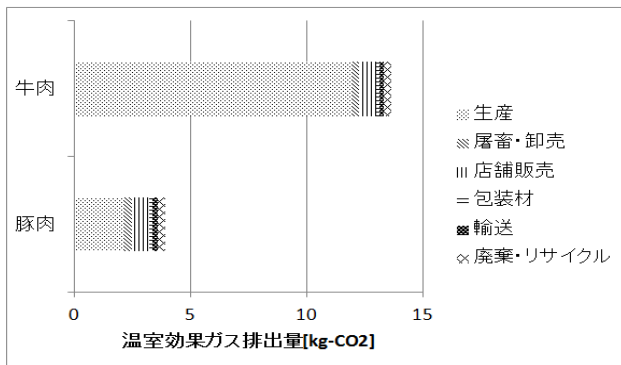


図5 食肉 1kg あたりの GHG 排出量

の廃棄物処分量は少なく表れていると考えられる。また、屠体から出る不要肉や特定部位などが案分できなかったため、牛肉、豚肉で廃棄物発生量は同じ値になっている。より正確な調査によって、この値は改善の余地がある。包装材においては、生産から屠畜・卸売、または屠畜・卸売から店舗のステージ間で、中間業者を挟むことでこの値はますます増加することが予想される。

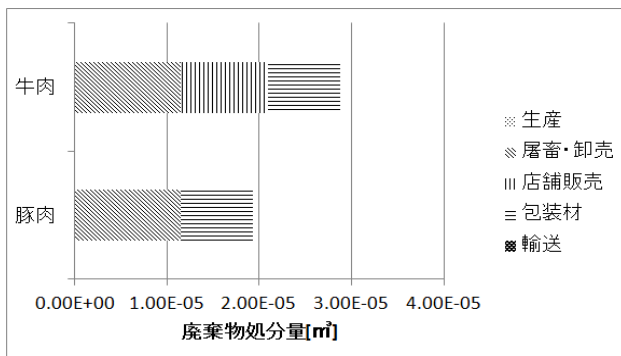


図6 食肉 1kg あたりの廃棄物処分量

4.2.3 化石燃料資源消費量

牛肉、豚肉 1kg あたりの化石燃料資源消費量を図7に示す。化石燃料資源消費量を発熱量で換算した値の合計は牛肉で 19.2MJ、豚肉で 20.2MJ となった。今回の研究では既存研究から生産の元データが得られなかったため、生産における資源消費量は省かれている。牛肉と豚肉で、屠畜・卸売、店舗販売の値が等しくなっているが、それぞれのステージで牛肉と豚肉に電力量を案分できる方法があれば、この値に差が生じると考えられる。包装材や輸送の全体に占める割合は、GHG 排出量に比べて多くなっている。これは包装材には化石燃料由来の素材を、輸送には軽油をそれぞれ使用しているからである。GHG 排出量と同じく、今回のステージ間に中間業者を挟んだとすると、包装材が増えることで、化石燃料資源消費量は大きくなると考えられる。また、輸送についても、化石燃料資源消費量は仮定した輸送距離に比例する。そのため、輸送距離が長くなり、積載量が少なくなれば、化石燃料資源消費量は店舗販売より大きくなることもあり得る。また今後、

一度に運ぶ量を増やす、1つの包装材で運べる食肉の量を増やすなどに取り組みれば、化石燃料資源消費量を少なくできる可能性もある。

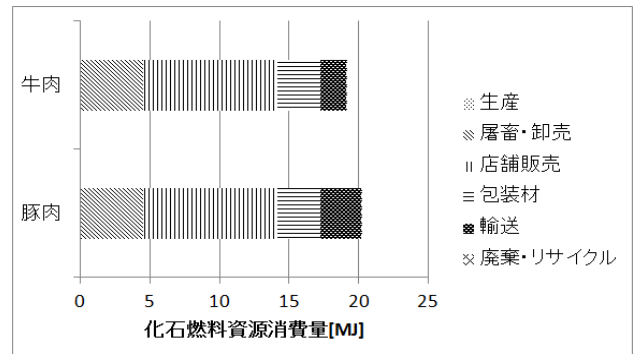


図7 食肉 1kg あたりの化石燃料資源消費量

5. 結論と今後の課題

本研究で得られた結論は、以下の通りである。

- 卸売市場、小売店における調査に基づき、それぞれの負荷を明らかにした。

- 調査対象事業者における電力量の原単位の計算式を以下のように推定した。

[一日の食肉販売店の電力量 kWh/d]

$$= 58.24 (\text{kWh/d}) + 0.265 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{d}) \times [\text{店舗総床面積 m}^2]$$

- LCA により、食肉 1kg あたりの GHG 排出量は牛肉で 13.6kg、豚肉で 4.03kg、廃棄物処分量は牛肉で $2.88 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ 、豚肉で $1.93 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ 、化石燃料資源消費量は牛肉で 19.2MJ、豚肉で 20.2MJ となった。なお、特に豚肉については卸売・小売の負荷の割合が 31%と小さくなく、流通の負荷も無視できないことがわかった。

なお今後の課題としては、この原単位の式をより一般化するため大規模店舗を含めた一定数の店舗の調査を行うこと、食肉の重量あたり原単位の安定化のために店舗総床面積と販売量などの関係を考察すること、などが挙げられる。

【参考文献】

- 1) 中田哲也, 農林水産政策研究 第5号(2003), pp45-59 / 2) 小澤寿輔ほか, 日本 LCA 学会誌, Vol4, No.2, 2008 / 3) 荻野暁史, システム農学, システム農学会編, 23(3), 213-219, (2007) / 4) 谷口郁ほか, 第2回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集(2007), pp110-111 / 5) Roy Poritoshほか, 第3回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集(2008), pp232-233 / 6) 宝大寺麻衣, 京都府立大学卒業論文(2005) / 7) 本下晶晴ほか, 第4回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集(2009), pp142-143 / 8) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー基準部会, 内蔵クローズドタイプショーケース及び内蔵オープンタイプショーケース等の消費電力量市場調査結果 ショーケース省エネ評価分科会(2008) / 9) 東京都中央卸売市場食肉市場・芝浦と場ホームページ http://www.shijou.metro.tokyo.jp/syokuniku/kisotisiki_01_02.html / 10) 環境省 廃棄物・リサイクル対策部 企画課循環型社会推進室, 3R 原単位の算出方法