

消費者の購買行動が流通構造を通して環境に与える影響の分析手法

LCA Method on Environmental Impacts of Purchasing Action through Distribution Process

加藤 博和¹

Hirokazu Kato

林 良嗣¹

Yoshitsugu Hayashi

五藤 祐加²

Yuka Goto

ABSTRACT: Resulting from motorization, the formation of physical distribution corresponding to the purchasing style of consumers has dynamically changed. The proportion of environmental load that generate during distribution stage within the whole life cycle of a product has become too significant to be ignored. The study aims to develop the methodology to assess environmental impacts of the purchasing and distribution style by applying the ISO-LCA procedure. Based on investigation with alternative distribution paths of targeting product from factory to home, life cycle environmental loads including distribution and sales stage are accounted. The effectiveness of each measure for reducing environmental loads is also assessed.

As a case study, milk supplied by paper pack is picked up. The analysis results in 1) the environmental loads during distribution stage consist of 20-40% of the total ones; 2) the environmental loads in the case of purchase at a convenience store are almost as same as that in the case of direct delivery to home; 3) for the convenience store, the 24-hour running is environmentally unfriendly; and 4) for the supermarket, the high environmental load of access by the vehicle can be significantly alleviated by the mass purchasing style.

KEYWORD: Life Cycle Assessment, Physical Distribution, Purchasing Style, Retail Store, Environmental Impact

1 はじめに

地球環境問題への関心の高まりとともに、「エコスタイル」「エコライフ」といった言葉を頻繁に耳にするようになった。しかし実際には、何をもって「エコ」と判断すべきかの具体的な根拠が明確にされていない場合も往々にして存在する。このことは、本研究で分析対象とする流通・購買活動においても例外ではない。例えば、買物客のほとんどが自動車で来店する郊外の大型スーパーや、24時間営業し多頻度小口配送を行っているコンビニエンスストア（CVS）は、従来型の商店に比べて環境に悪い影響を与えているのではないかと問題視されることが多いが、その根拠は必ずしも明確ではない。大型スーパーや CVS は、消費者ニーズのみならず流通業の効率化のダイナミズムから生まれてきたものであり、その副次的効果として環境負荷も削減されている可能性も十分考えられる。

一方で、日本を含め全世界的に増大を続けている運輸交通部門の環境負荷を削減するために検討・実施されてきた諸施策は有効な成果を挙げてきたとは言い難い。なぜならば、運輸交通活動の大半は生産・生活活動に伴う派生需要であり、それゆえにライフスタイルや都市構造といった運輸交通部門の外側にある部分と深く関連しているからである。流通・購買活動の場合、商品を購入する小売店舗の選択は、購入者のライフスタイルを反映するものであり、一方でその店舗に商品が届けられるまでの流通経路を暗黙のうちに合わせて選択することになる。結果として、購入者のライフスタイルが流通形態やそれに伴って生じる環境負荷を規定していることになる。

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻, Division of Environmental Engineering & Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

² (株)電通国際情報サービス, Information Services International-Dentsu, Ltd.

そこで本研究では、流通・販売形態による環境影響の違いを分析する手法を構築し、「エコ」流通・購買形態を探るための一方法論とすることを目的とする。そのためには、商品が製造されてから消費者の手に届くまでの流通経路におけるすべての活動によって発生する環境負荷を把握する必要がある。そこで、製品のライフサイクル全体の環境負荷を推計・評価するための枠組みである「LCA (Life Cycle Assessment)」に基づき分析を行う。

2 ISO-LCA における流通段階の扱いと本研究の視点

流通・販売段階における環境負荷発生量がライフサイクル的に見て重要であることは、様々な LCA 事例によって明らかにされてきている。例えば、日本生活協同組合連合会・野村総合研究所による醤油容器 (PET ボトル、リターナブルびん) の分析結果¹⁾によれば、PET ボトルによるライフサイクルでの化石資源消費量・CO₂排出量のうち店舗輸送の占める割合は全体の 10%以上、リターナブルびんでは 30%以上を占める。

しかしながら、ISO に準拠した一般の製品 LCA では、製造・使用・廃棄段階での環境負荷削減に注目していることが多く、またデータ収集の困難さ等の理由から、本研究が特に着目する流通 (輸送)・販売段階での環境負荷量の推計は単純な仮定に基づいて行われることが多い。例えば、容器間比較研究会²⁾は、リターナブルびんとワンウェイ容器の環境負荷を比較する際、輸送距離 (リターナブルびんの場合はびん回収分を含む) を設定して分析を行っている。また、日本の標準的な LCA ソフトウェア「JEMAI-LCA」<(社)産業環境管理協会>では、輸送段階の推計で陸上輸送または海上輸送を選択するようになっており、陸上輸送の場合、大まかな地域・製品重量・積載率・走行距離といった簡単な入力項目が用意されているのみである。

そこで本研究では、ISO-LCA の手順に準拠しつつ、流通・販売形態による環境負荷の違いをより詳細に分析することが可能な手法を構築する。

3 流通構造による環境負荷の違いに関する分析の枠組み

本研究で構築する分析の枠組みを、ISO-LCA の手順である(1) Goal and Scope Definition、(2) Inventory Analysis、(3) Impact Assessment、(4) Interpretation に沿って説明する。

3.1 Goal and Scope Definition

図 1 に分析範囲を示す。一般的な LCA の対象範囲のうち流通・販売を除く段階で発生する環境負荷は、同じ製品であればすべて同一であると考えることができる。しかしながら、流通・販売段階の環境負荷はその構造の違いによって変化する。そこで、流通・販売段階を詳細に分析するために、対象商品が工場から家庭まで配送される経路に関して流通形態の違いによる代替案を設定し、その環境負荷を推計して比較を行う。それに基づいて、どのような購買形態であれば環境負荷排出が少なく済み、さらに流通段階全体の中でどのような施策が環境負荷削減に有効であるかを明らかにすることを目

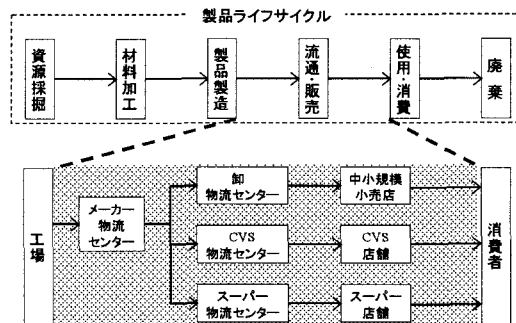
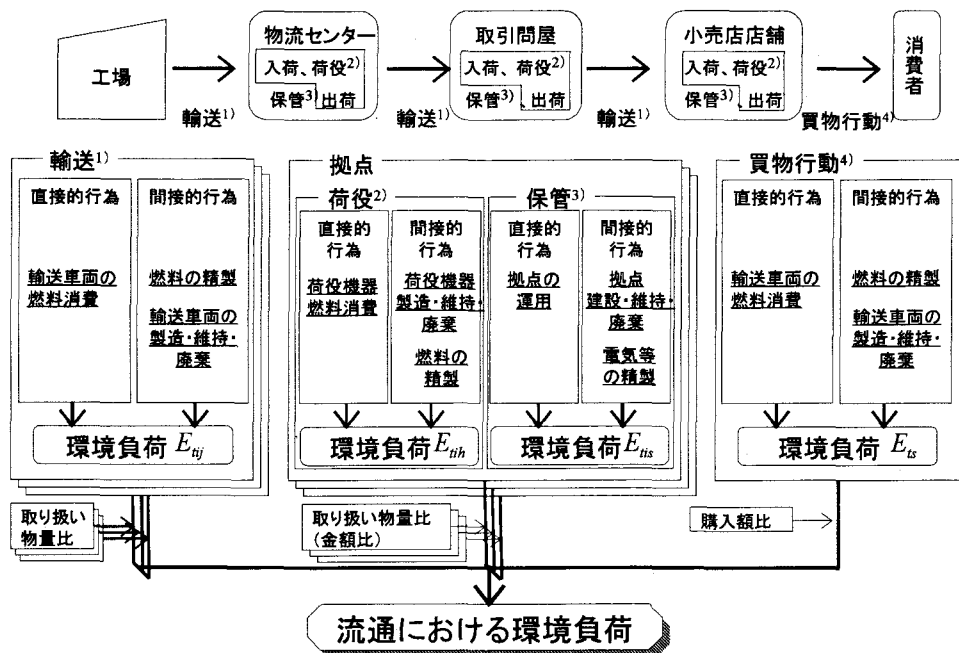


図 1 本研究における分析範囲

表 1 対象とするインパクトカテゴリと負荷物質

インパクトカテゴリ	負荷物質
エネルギー消費	エネルギー全体
地球温暖化	CO ₂ 、N ₂ O、CH ₄
酸性雨	NO ₂ 、SO ₂ 、NO
オゾン層破壊	CFC-11、CCl ₄
廃棄物処理	産業廃棄物
水質汚濁	COD、T-N、T-P
大気汚染	NO ₂ 、SO ₂



化におけるインパクトカテゴリ間の重み付けには、Distance to Target (DtT) 法⁹⁾によって著者らが定義した EFP (Environmental Friendliness Point) ⁹⁾を用いる。EFP では、最終処分場の残余年数が少ないことを反映して廃棄物量の重み付けが大きくなっており、一方、地球温暖化の重み付けが小さくなっている。

3.4 Interpretation

Impact Assessment までで得られたデータを用いて、各流通・販売経路代替案の比較評価を行う。さらに、流通経路全体からみて有効な環境負荷削減施策を抽出する。本研究で検討可能な削減施策項目の例を表 2 に示す。

4 ケーススタディ

4.1 分析対象商品 一紙パック牛乳ー

3 章で示した方法を適用して、ある大手牛乳メーカーの愛知県内の工場で生産される紙パック牛乳（メーカーブランド）1 リットルを対象に、愛知県内の配送に関するケーススタディを行う。なお、商品の生産・消費には季節変動があるため、使用するデータは年間の平均値とする。

4.2 対象商品の流通経路

図 3 に、本研究で対象とした流通経路を示す。一般家庭による購入を対象とし、学校給食や集団飲用に関する流通経路は対象外とする。総合スーパーが台頭する 1970 年代初頭までは、牛乳販売店による家庭宅配が主流であり、1973 年には約 38% を占めていた。しかし徐々にスーパーや CVS といった量販店からの供給にシフトし、現在では 70% 以上が量販店から供給され、家庭宅配は約 6% 程度にとどまっている。

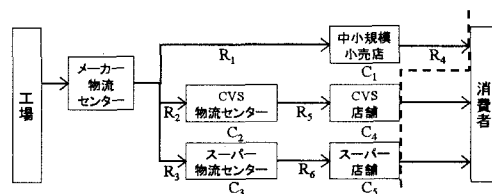


図 3 分析対象とする流通経路

4.3 対象商品の生産段階の Inventory Analysis

紙パック牛乳に関する Inventory Analysis を実施する。ライフサイクルは大きく、原乳生産・原乳輸送・製造・流通・販売・消費の各段階に分けられる。このうち、本研究が着目している流通・販売段階については次節で詳しく分析する。また、消費段階についてデータ制約上不可能であったため、ここでは生産段階<a)原乳生産・b)原乳輸送・c)製造の各段階>に関して行う。産地や品質等の違いから、各段階で発生する環境負荷は厳密には異なるが、本研究ではすべて同じであると仮定する。

a)原乳生産段階については、鶴巻らの環境負荷原単位⁴⁾における「畜産・養蚕」の項目を、飲用原乳 1 リットルの価格で配分して推計する。b)原乳輸送段階は、10t トラック・積載率 70%での輸送を仮定し、対象工場が使用している原乳の各生産地について、その使用割合と輸送距離を調査し推計する。c)製造段階に関しては、対象工場におけるデータが入手できなかったため、他牛乳メーカーの環境報告書のデータを使用するとともに、年間生産量の重量比で牛乳 1 リットル分に配分する。

4.4 流通・販売段階の Inventory Analysis

(1) データ収集のための調査

流通経路を特定するために、対象工場で生産される商品が通過する物流センター・販売店に対して訪問調

表 2 流通・販売段階での環境負荷削減施策

段階	施策
輸送	・使用機器の変更
荷役	・車両の変更 ・積載率の向上 ・配送経路見直しによる配送距離の削減
保管	・在庫日数削減
買物行動	・交通機関の変更 ・買物頻度（一度の購入金額）の変更

査（販売店に関しては一部電話調査）を行った。調査数と有効回答数を表3に示す。有効回答が得られなかった主な理由は、必要データが詳細に把握されていない場合と、社外に漏らせない情報を含む場合の2点であった。特に前者に関しては、配分計算のために必要な、物流センターでの

取扱量やトラックの平均積載率といったデータの把握が概算である場合が多いことや、各センターで配送の単位が異なっていることが大きな障害となった。

(2) 推計における諸仮定（記号は図3を参照）

C₁：牛乳販売店での保管

一般に用いられている1～2.5坪のプレハブ冷蔵庫の電気消費量から、保管に係わる環境負荷を推計した。

C₂、C₃：物流センターでの荷役・保管

荷役に関しては、調査で得られた荷役機器台数・燃費稼働時間等のデータを用いて環境負荷を推計した。

保管に関しては、調査で得られたエネルギー・水消費量、廃棄物量から、物流センターの運用により生ずる環境負荷を推計した。配分にあたっては在庫時間が必要となるが、調査先の物流センターではすべて牛乳のような日配品を扱っており、メーカーからの納品の翌日には全商品を各店舗へ配送する形をとっている。そこで、全商品の在庫時間が同じであると考え、在庫時間を考慮せず、センターでのすべての取扱商品に対する重量比で対象商品分に按分した。

C₄、C₅：CVS・スーパーでの保管・陳列・販売

大手CVS4社、および大手総合スーパー4社が発行している環境報告書から、店舗あたりのエネルギー・水使用量、廃棄物量等のデータの平均値を算出し、それをもとに店舗の運用（保管・陳列・販売）によって発生するライフサイクル環境負荷を推計し、さらに商業統計によるCVS・総合スーパーの店舗あたり平均売上高を用いて対象商品分に按分した。

R₁、R₂、R₃：工場から物流センター・牛乳販売店への配送

R₄、R₅、R₆：家庭への配達、CVS・スーパーへの配送

配送時の積載率・コース平均

距離・使用車両に関しては、工場や物流センターへの調査で得られた値の平均値（表4）を用いる。なお、本調査対象においては、R₁は23、R₂は9、R₃は6種類の主なコースを調査することができた。

工場から牛乳販売店への距離

(R₁)が相対的に長い理由として、センター配送とは異なり、1コースで複数の販売店を回ることが考えられる。一方、積載率については、多頻度小口配送が問題とされるCVSや、生鮮食品を扱うスーパーについては、物流センターから店舗への配送(R₄、R₅)が低い値となっている。

次に、配送時における自動車の燃費や環境負荷原単位について述べる。燃費については、ディーゼル車はJEMAI-LCAの設定値（(社)プラスチック処理促進協会のデータ）を、ガソリン乗用車・軽自動車は乗用車等燃費一覧の10・15モード燃費データをもとに、走行・積載状況を考慮して調整した値を用いる。CO₂原単位は燃費をガソリン・軽油のリットルあたり排出係数で換算して求める。SO₂・NO₂原単位は石田ら^⑥を参考に設定している。

表3 調査先および有効回答数

配送先	調査数	有効回答数
CVS	9センター	1センター、165店舗
スーパー	6センター	5センター、117店舗
販売店	30店舗	8店舗

表4 各配送の積載率・コース距離・使用車両

	積載率	コース平均距離 [km]	使用車両
R ₁ ：工場→販売店	0.58	75.8	ディーゼル2,3t車
R ₂ ：工場→センター（CVS）	0.65	59.8	ディーゼル2,3,4t車
R ₃ ：工場→センター（スーパー）	0.68	56.6	ディーゼル2,3,4,10t車
R ₄ ：センター→CVS店舗	0.46	63.0	ディーゼル4t車
R ₅ ：センター→スーパー店舗	0.46	45.9	ディーゼル4,10t車
R ₆ ：販売店からの家庭配達 (積載率の項は「積載量」[kg])	68.6	22.6	軽貨物自動車

(3) 買物行動分の推計方法と仮定

推計の手順を図4に示す。図の左側では、買物先（店舗形態）による消費者の交通手段・距離を設定して1度の買物行動での内包環境負荷を推計する。一方、右側では、1度の買物で牛乳をどれだけ購入するかを特定する。これらによって、買物による環境負荷を牛乳購入分に配分することができる。家計調査年報によると、1世帯の牛乳購入頻度は1.48[回/週]、購入数量は1.48[リットル/回]であることから、週の購買数量は2.19リットルとなる。これをすべて紙パック牛乳1リットルで購入すると仮定する。

その他、買物行動に関して設定した属性を表5に示す。

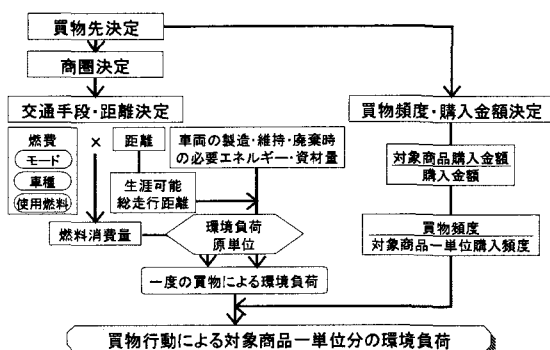


図4 買物行動による環境負荷推計の手順

表5 CVSとスーパーの設定属性

	CVS	スーパー
商圏距離 [km]	0.5	2
客単価 [円/人]	629	2,232
購買金額 [円/週]	2,202	5,580
来店頻度 [回/週]	3.5 (1回/2日)	2.5 (1回/2.7日)
利用交通機関	徒歩	乗用車

4.5 推計結果と考察

(1) Inventory Analysis の結果

表6に、生産段階（原乳生産・原乳輸送・製造）と流通・販売段階での、紙パック牛乳1リットルに内包される各環境負荷の排出量推計結果を示す。

ほぼ全項目で、生産段階の環境負荷が流通・販売段階よりも大きくなっている。しかし、特にエネルギー資源消費量・各種大気汚染物質排出量・埋立廃棄物量については、各流通経路で発生する環境負荷が生産段階分の50%以上となっている場合があり、流通・販売段階での環境負荷削減がライフサイクル全体からみて重要であることがわかる。

流通・販売段階分のみに着目すると、CVSと牛乳販売店とでエネルギー資源消費量や各種大気汚染物質排出量がほぼ同じ値となっている。牛乳購入の場合、CVSへ徒歩で買いに行くことは家庭配達で購入する場合に比べて環境面でそれほど不利ではないことがわかる。

(2) Impact Assessment の結果

生産段階および流通・販売段階（各代替案）のEFP値を図5に、CO₂排出量を図6に示す。EFP値（図5）は、CVS・スーパーの流通・販売段階での値が生産段階とほぼ同じ値となっており、また牛乳販売店に関しては非常に小さい値となっている。これは、EFP値では廃棄物量の重み付けが大きく、CVS・スーパーでは店舗の建設・運用・廃棄時の廃棄物量が多いことによる。一方、CO₂排出量（図6）については、流通・販売段階ではCVSと牛乳販売店がほぼ同じ値で、スーパーがその約1.7倍となっており、スーパーに自動車で買物に行くことが環境面で最も不利という結果となった。なお、生産段階分のCO₂排出量を1とすると、CVS・スーパー・牛乳販売店の流通・販売段階のCO₂排出量はそれぞれ0.41、0.68、0.39となった。

表6 Inventory Analysis の結果（紙パック牛乳1リットル）

	生産段階	流通・販売段階		
		CVS	スーパー	牛乳販売店
エネルギー資源消費量[kcal]	819	314	612	422
水消費量[10 ⁻³ m ³]	15	1	1	0
CO ₂ 排出量[g]	288	119	196	112
SO _x 排出量[mg]	259	50	200	41
NO _x 排出量[mg]	998	652	491	512
埋立廃棄物量[g]	39	60	52	5
COD[mg]	106	4	14	5
T-N[mg]	77	17	39	4
T-P[mg]	10	17	37	0
BOD[mg]	92	23	53	4

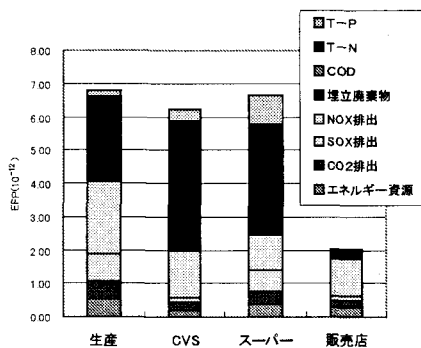


図5 生産段階と流通・販売段階のEFP値

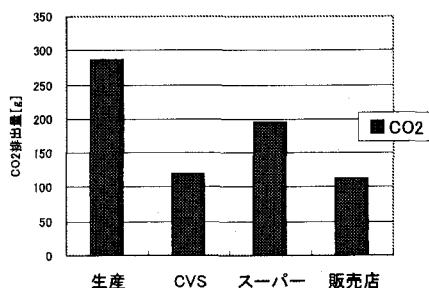


図6 生産段階と流通・販売段階のCO₂排出量

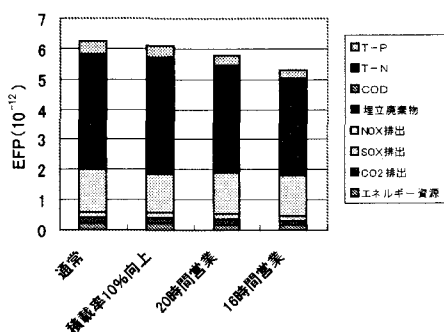


図7 各改善策 (CVS) によるEFP値の変化

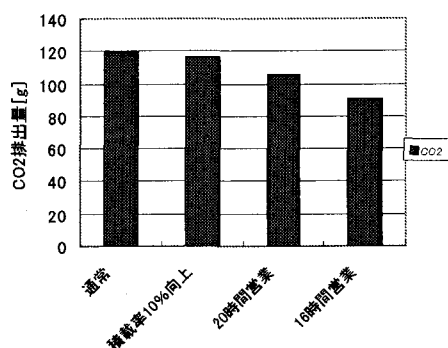


図8 各改善策 (CVS) によるCO₂の変化

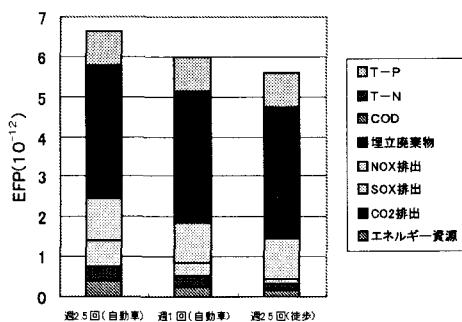


図9 各改善策 (スーパー) によるEFP値の変化

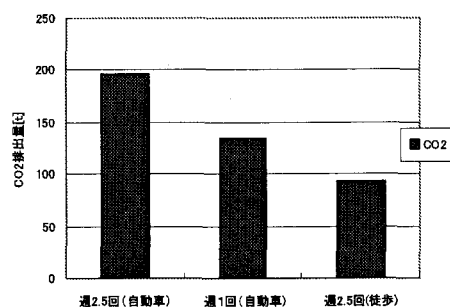


図10 各改善策 (スーパー) によるCO₂の変化

(3) Interpretation

CVS・スーパーそれぞれの流通・販売段階について、表2を参考に改善施策を設定し検討を行う。

CVS: 多頻度小口配送や24時間営業が問題視されることから、a)店舗配送時の積載率の10%向上、b)店舗営業時間の20時間・16時間への短縮、の各ケースについて、EFP値を図7に、CO₂排出量を図8に示す。なお、b)店舗営業時間短縮ケースの推計に関しては、データ制約上、店舗運用時のエネルギー消費量・水消

費量・廃棄物量を、時間に単純比例して減少したと仮定して行う。その結果、過小推計となっていると考えられる。

推計の結果、a)積載率向上、b)営業時間短縮（20 時間・16 時間）の各ケースで、現状と比較して EFP 値はそれぞれ約 2%、7%、15%、CO₂ 排出量に関してはそれぞれ約 3%、12%、24%の削減となった。したがって、多頻度小口配送よりも 24 時間営業の方が環境面からは問題であり、店舗の営業時間短縮が環境負荷削減に効果的であることが分かる。

スーパー：自動車で買物に行くスタイルが問題視されることから、総購入金額は変化させず、c)頻度を通常の週 2.5 回から週 1 回に削減、d)頻度は変えず徒歩に転換、の各ケースについて、EFP 値を図 9 に、CO₂ 排出量を図 10 に示す。

推計の結果、c)買物頻度削減、d)徒歩転換の各ケースで、通常と比較して EFP 値はそれぞれ約 9%、16%、CO₂ 排出量はそれぞれ約 32%、53%の削減となった。この結果より、自動車で買物に行くことによる環境への影響が流通・販売段階全体からみて非常に大きく、買物頻度削減や徒歩転換が効果的であることが分かる。

5 結論

本研究では、製品の流通・販売段階における環境負荷を推計し評価する手法を、ISO-LCA を元に構築することができた。さらに、紙パック牛乳 1 リットルを対象としたケーススタディを行い、この手法の有効性を検証することができた。本研究の手法によって、購買行動やそれによって規定される流通形態を環境面から評価することが可能となり、環境にやさしいライフスタイルを提案するための基礎データを得ることができると考えられる。しかし、本手法適用のために必要なデータの収集の困難さも同時に明らかとなった。

ケーススタディからは、a)CVS・スーパー・牛乳販売店における流通・販売段階の CO₂ 排出量は、生産段階比で約 40～70%という大きな値を占めること、b)CVS に徒歩で行って購入することは、牛乳販売店からの配達と比較して、各種大気汚染物質排出量等の面でほぼ同等であること、c)CVS では多頻度小口配送よりも 24 時間営業の方が環境面で問題であること、d)スーパーへ自動車で買物に行くことは他に比べて環境面で不利であるが、まとめ買いによって頻度を減らせば大きく改善できること、などの知見が得られた。

謝辞

本研究の遂行にあたっては、非常に多くの皆様に調査にご協力いただくとともに、貴重なデータを提供していただきました。特に、(株)西濃創業の溝田勝也様、西濃運輸(株)の杉山康彦様には、物流に関する様々な知識をご提供いただきました。皆様にこの場をお借りして厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本生活協同組合連合会・(株)野村総合研究所：「醤油、牛乳、ビール容器のライフサイクルアセスメント報告書」、1998。
- 2) LCA 日本フォーラム：LCA 調査結果のインタープリテーションセミナー資料、(社)産業環境管理協会、p.6、2001。
- 3) 加藤博和・林良嗣・大浦雅幸：新規交通施設整備に伴う環境負荷変化の LCA に基づいた評価モデル、第 28 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.131-138、2000。
- 4) 轟巻峰夫・野池達也：LCA における多項目環境負荷量の定量化に関する研究、環境システム研究 Vol.25、pp.217-227、1997。
- 5) 松野泰也・稲葉敦・伊坪徳宏・山本良一：日本におけるインパクトアセスメント統合指標の開発—Distance to Target 法を用いた統合指標およびその適用例について—、日本エネルギー学会誌 Vol.77、No.12、pp.1139-1147、1998。
- 6) 石田東生・小島宗隆・岩倉成志・七元広宣：旅客交通の大気汚染排出原単位に関する比較考察、土木計画学研究・講演集 No.19、pp.105-108、1996。
- 7) 市原実：商圏と売上高予測、同友館、p.5、1995。