耐久消費財の買い替えに伴う環境負荷削減効果の評価

Reduction of Life Cycle Environment Pollutant Load by Environmentally Sound Actions on Replacement of Household Appliances

城戸由能*・細井由彦*・○山本啓文*・山根絹代**

KIDO Yoshinobu, HOSOI Yoshihiko, YAMAMOTO Hirofumi* and YAMANE Kinuyo***

ABSTRACT : Recently, global environment problems have been actualized and they are caused by accumulated effects of pollutant load derived from citizens' daily activities. Life-Cycle-Assessment (LCA) is powerful tool for estimation of total environmental effect of some appliances and services. But it is not easy to execute LCA for strict environmental assessment. In this study, we tried to evaluate multiple environmental pollutant loads and applied to estimate the environmental effect of replacement of household electric appliances and automobile. The replacement from an old household appliance to new one which has higher efficiency of utilizing energy, and from a small appliance to bigger one which has more additional values was estimated. Both cases were estimated to bring increasing of environmental pollutant load whenever drastic improvement of efficiency of energy consumption and effluent is not expected in utilization stage. Finally, Eco-Factor derived from BUWAL-SR133 was tried to estimate total environmental effect of these problems.

KEYWORDS : Life Cycle Assessment, Life Cycle Inventory Analysis, Environmentally Sound Actions, Household Electric Appliances, Household Automobile, Eco-factor

1. はじめに

近年のその存在や影響が顕在化しつつあるさまざまな環境問題は、基本的に全ての人間活動からの環境負荷の発生と累積が原因となっており、その削減をさまざまな段階・階層で総合的に進めることが急務となっている。このような総体的な環境負荷の削減効果の評価方法として注目されているLCA (LCA: Life Cycle Assessment) を実施するためには生産活動や発生負荷量についての膨大なデータが必要であり、これまでの研究では主に個別の製品についてのエネルギー消費やCO₂排出量といった特定の環境負荷についての評価に限定されてきた。しかし近年では、複数の環境負荷の総合影響を評価するための手法の研究も進み、国際標準としての規格化も進められている¹⁾。

負荷削減の断面としての日常生活に着目すると、家庭内外で直接消費する各種のエネルギーに加えて、耐久消費財や消耗品も、その製造から使用・廃棄の各段階において多くのエネルギーを消費し、各種の環境負荷を排出している。近年では、技術革新により過去の製品と比較した場合に使用時のエネルギー消費が格段に減少している場合がある。とりわけ自動車や家電製品のように省エネ・低燃費の製品開発が進んでいる場合には、早期に省エネ対策のなされた新製品と買い替えた場合のほうがエネルギー消費の面では良いこともある²⁾。しかし、ライフサイクルの各段階において発生する他の環境負荷を考慮した場合には、早期に買い替えをおこなうことにより一定期間で消費廃棄される製品台数が増え、総じて環境負荷が多くなることが予想される。そのため環境負荷の総合的な削減のためには、省エネあるいは低環境負荷型の製品開発やリサイクル市場の形成といった企業や行政の努力だけでなく、製品の使い方の工夫やカスケード利用といった消費者の努力も要求されている。

そこで本研究では、使用段階の直接的なエネルギー消費と環境負荷排出量とその他のライフサイクル段階における間接的なエネルギー消費と発生環境負荷量の両面に注目し(図1)、身近な耐久消費財の買い替えに伴うエネルギーと環境負荷の変化を評価した。

* 鳥取大学工学部社会開発システム工学科、Dept. of Social Systems Eng., Tottori University

** 鳥取県庁、Tottori Prefectural Government

2. 算定評価手法

2.1 環境負荷算定方法

本研究では、まず既存のLCAの事例研究やさまざまな業界団体で現在進められている環境負荷原単位に関する調査等の資料³⁾より、エネルギー消費や各種環境負荷に関するデータを収集整理した。次に、耐久消費財の代表として自動車と家電製品(テレビ、冷蔵庫、エアコン、洗濯機)を対象として積み上げ法を用いてライフサイクル・インベントリー分析(LCI: Life Cycle Inventory Analysis)をおこない、ライフサイクルエネルギー(LCE: Life Cycle Energy)およびライフサイクル環境負荷(LC-環境負荷)を算定した。

製品のLCEおよびLC-環境負荷の算定の原単位積み上げ型の基本算定式を以下に示す。ここでは、後述する買い換え問題の設定期間や形式別に製品の標準的な仕様と使用年数を設定し、その条件に基づいてそれぞれの製品1台あたりの環境負荷を算定している。特に、形式別の製品重量や燃費・消費電力は経年的な統計データに基づいて算定するとともに、一部の環境負荷についても複数年次で原単位データが存在する場合には内挿補間するなどして経年変化データを作成して使用した(式中の※印)。

図1 ライフサイクルを通したエネルギー・資源消費と環境負荷排出

(1) 素材生産段階

- ・LCE(Mcal/台) = $\sum \{ \text{素材生産段階消費エネルギー-原単位 (Mcal/kg)} \times \text{素材別重量 (kg/台)} \}$
- ・LC環境負荷(kg/台) = $\sum \{ \text{素材生産段階排出負荷原単位 (kg/kg)} \times \text{素材別重量 (kg/台)} \}$
(※素材のうち鉄・銅・ガラスの原単位および自動車の素材別重量)

(2) 製品製造段階

- ・LCE(Mcal/台) = $\sum \text{単位生産金額当り消費エネルギー-原単位 (Mcal/¥)} \times \text{製品別平均生産額 (¥/台)}$
- ・LC環境負荷(kg/台) = $\sum \text{単位生産金額当り排出負荷原単位 (kg/¥)} \times \text{製品別平均生産額 (¥/台)}$
(※生産額・デフレター)

(3) 輸送段階

- ・LCE(Mcal/台) = $\text{輸送段階消費エネルギー-原単位 (Mcal/kg} \cdot \text{km)} \times \text{平均輸送距離 (km)} \times \text{輸送重量 (kg/台)}$
- ・LC環境負荷(kg/台) = $\text{輸送段階排出負荷原単位 (kg/kg} \cdot \text{km)} \times \text{平均輸送距離 (km)} \times \text{輸送重量 (kg/台)}$
(※貨物輸送に関する消費燃料に基づいた原単位)

(4) 使用段階

- ・LCE(Mcal/台/年)
 - 家電製品 = $\text{消費電力 (KWh/台} \cdot \text{年)} \times \text{電力熱量換算係数 (Mcal/KWh)} \times \text{製品別実効率 (\%)}$
 - 自動車 = $\text{年間平均走行距離 (km/年)} \div \text{燃費 (km/kl)} \times \text{燃料熱量換算係数 (Mcal/Kl)}$
- ・LC環境負荷(kg/台) = $\text{使用段階排出負荷原単位 (kg/hr)} \times \text{製品別平均使用時間 (hr/台/年)}$
(※家電製品の消費電力、自動車の排ガス中のNOx、CO2)

(5) 廃棄処理段階

- ・LCE(Mcal/台) = $\text{廃棄処理段階消費エネルギー-原単位 (Mcal/kg)} \times \text{処理量 (kg/台)}$
- ・LC環境負荷(kg/台) = $\text{廃棄処理段階排出負荷原単位 (kg/kg)} \times \text{処理量 (kg/台)}$

以上のライフサイクルのうち使用段階を直接負荷、その他を間接負荷とし、間接負荷についてはそれぞれの製品の標準的使用年数で除して年間値に換算して評価した。

2.2 買い替え問題の設定

財の使用延長と買い替え時期および買い換え時の形式変更の検討をおこなうために次のように買い換え問題を設定した。まず、評価期間を1970年から2000年までの30年間とし、製品の平均的な耐用年数を10年と設定し、使用延長と早期買い替えの評価をおこなうため、買い替え時期を次のように設定した。

- A:製品を耐用年数以上使用した場合 : 15年+15年
 ○B:製品を耐用年数通り使用した場合 : 10年+10年+10年
 ○C:製品を耐用年数に満たないうちに買い替えた場合 : 8年+ 8年+ 8年+ 6年

さらに、買い換え時の形式変更に関して、①:大型から小型、②:同一型式(中型から中型)、③小型から大型への買い換えの3つのパターンを設定し、上記A～Cの場合との組み合わせにより、各製品について計9種類の算定をおこなった。

3. 算定結果

3.1 ライフサイクル環境負荷の算定

設定した条件において自動車と家電製品4種について算定した。21型テレビで買い換え時期を変化させた場合の結果を表1、自動車の標準的な耐用年数10年で買い換えをおこない、型式を変更した場合の結果を表2に示す。さらに、標準的な設定(Bおよび②)を基準として相対化したLCEおよびLC環境負荷の変化を図2に示す。

同一型式の買い替えにおいては、家電製品では比較的同様の環境負荷排出傾向を示し、使用期間の延長(ケースA)ではより旧式で使用時の消費電力の高い製品を長く使うことになりLCEは約9%高くなり、新型の製品への買い換え促進(ケースC)では4%程度低くなる。他の環境負荷については総じて間接負荷の影響が強く、買い換え台数の増加にともないLC-環境負荷が16~33%も増大する。一方、自動車では間接負荷が主である水質汚濁物質については寿命延長(ケースA)によるLC-環境負荷削減効果が家電製品と同様に高いが、大気汚染物質については異なる傾向を示した。SOxでは評価期間での経年的な排ガス中の原単位データを作成できなかったため、同型式での製品重量増加による間接負荷の増大による影響のみが算定され新型製品への買い換え促進時(ケースC)のLC-環境負荷を増加させている。一方、CO2とNOxについては、評価期間内での低燃費・排ガス規制の効果が表現できているので直接負荷が大きく減少し、新型製品への買い換え促進時(ケースC)のLC-環境負荷が減少している。とりわけ1970年代のNOxの排ガス規制に対応した負荷削減効果が大きい。LCEについてはほとんど増減しなかった。

表1 テレビ(21型)の買い換え時期の変化による環境負荷の変化

買い換え時期の設定	LCE	CO2	NOx	SOx	BOD	COD	SS
A:15年+15年	13.82	1.83	2.07	1.60	0.16	0.11	0.10
	1.09	0.66	0.73	0.66	0.67	0.67	0.67
B:10年+10年+10年	12.68	2.77	2.84	2.41	0.24	0.16	0.15
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C:8年+8年+8年+6年	12.15	2.78	3.61	2.86	0.32	0.22	0.20
	0.96	1.00	1.27	1.19	1.33	1.33	1.33

※:上段:各環境負荷算定値、下段:Bの場合を1とした相対値
 単位:LCE(Gcal/台/y), CO2:(t/台/y), 他のLC環境負荷:(kg/台/y)

表2 自動車の買い換え型式の変更による環境負荷の変化

型式変更の設定	LCE	CO2	NOx	SOx	BOD	COD	SS
①大型→中型→小型	286.04	242.50	529.57	83.77	30.45	28.40	37.43
	1.09	1.11	1.11	1.00	1.10	1.05	1.03
②中型→中型→中型	263.54	218.96	478.70	83.88	27.67	27.08	36.18
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
③小型→中型→大型	269.12	217.86	365.01	84.96	30.70	28.89	38.26
	1.02	0.99	0.76	1.01	1.11	1.07	1.06

※:上段:各環境負荷算定値、下段:②の場合を1とした相対値
 単位:LCE(Gcal/台/y), CO2:(t/台/y), 他のLC環境負荷:(kg/台/y)

次に同一年数で買い替え時に型式の変更をおこなった場合、テレビ以外の家電製品では、消費電力量の減少に伴うLCEの減少が期待できるので大型形式への買い換え(ケース①)がもっともLCEが低い、他の環境負荷については数%の変化しかみられない。テレビのみは大型(32型)の環境負荷排出が高い分だけ形式の変更(ケース①および③)ではLC環境負荷が高くなる。

自動車では、CO₂やNO_xでは新型製品の使用段階での環境負荷の削減が期待できるので、大型形式への買い換え(ケース③)時の環境負荷は同等あるいは減少すると評価できる。しかし、間接負荷が主な水質汚濁物質は当然ながら、直接負荷が主なエネルギー消費についても、近年の大型形式の製品重量の増加もあり、中型のみの場合(ケース②)に比べて微増する。

図2 買い換えに伴うLCEとLC環境負荷の増減

3.2 エコファクターを用いた買い換え問題の評価

複数の環境負荷の環境影響を総合的に評価する手法がいくつか提案されているが、現時点では国際的に標準手法として利用できるものはない。最初のエコファクターは、スイスにおいて資源やエネルギーの希少性に基づいて算定されたものであり、状況の異なる他国で直接利用することは妥当ではなく、各国の条件にもとづいて算定し直す必要がある⁴⁾。しかし、現時点では日本において直接適応可能なエコファクターは算定されていないので、ドイツで利用可能として提案されているエコファクター値(BUWAL SR133)を

図3 買い換え問題のエコファクタを用いた評価

用いて試行的に買い換え問題を評価した。7つの環境負荷の中から、エネルギーと CO_2 に加えて、大気汚染物質を代表して NO_x 、水質汚濁物質を代表してCOD、の計4つの負荷項目についてエコファクターを用いた評価をおこなった。結果を図3に示す。

家電製品の買い替え時期については、早期に買い替えをおこなう場合(ケースA)の評価値が高くなり、使用期間を延長した方が環境への負荷を減らすことができる。これはエコファクタを用いた評価ではLCEにくらべて NO_x 等の環境負荷のUBP値が高く評価され、たとえ、LCEと CO_2 のみで評価しても省エネの進んだ新型の機器に早期に買い換える効果は高くはならない。また、型式の変更の場合には、新型の大型機器の省エネ効果が反映して形式の大型化(ケース③)の評価値が低くなった。ただし、本研究の算定では間接負荷の経年的な評価が不十分であるのでこの結果のみから、大型への買い換えが環境負荷の削減に効果的であるとは断言できない。

一方、自動車の場合は、買い替え時期の変更と型式の変更の両面で早期の買い替えと形式の大型化のほうがエコファクタの評価値が良いという結果になった。これは自動車の場合は、燃費の向上と排ガス負荷削減が評価期間内で大幅に進んだことを反映している。ただし、評価期間内での購入廃棄の台数を増やした場合には、当然間接負荷の増大により、早期の買い換えは必ずしも環境負荷を低減させないことは容易に理解できる。

4. 結論

4.1 評価結果のまとめ

本研究では、家庭で使用される代表的な耐久消費財として自動車と家電製品(4種)を対象に、エネルギー消費・ CO_2 ・ NO_x ・ SO_x ・BOD・COD・SSの計7つの環境負荷のライフサイクル・インベントリー分析をおこない、LCEとLC-環境負荷を用いて、製品の買い換えに伴う環境負荷の増減を評価した。

家電製品については、省エネの進んだ最新の機器に買い換えることはLCEのみに効果的で、他の負荷の削減は期待できず、同一期間内で購入廃棄する台数が増えれば環境負荷は増大する結果となった。このことはエコファクターを導入した評価でも確認できた。

自動車の場合には、対象とした評価期間(1970年～2000年)での燃費の向上と排ガス規制による直接負荷の削減効果が大きく、旧型の車を大事に乗り続けることが必ずしも環境負荷を低減させないことが明らかになった。特に旧型の大型車からの買い換えを考えた場合には、それまでの環境負荷の排出を考慮してより低負荷の小型車への買い換えが必要となる。

ただし、最近まで頻繁にみられたモデルチェンジや快適性を追求した短期間での買い換えと製品の大型化が進んだ場合には、消費台数や消費電力そのものが増え、総体的な環境負荷を増大させることになる。また、今後飛躍的な省エネ機器や低燃費自動車を実現するかどうかは製品の買い換えを判断する大きな要因であり、省エネ・低燃費の機器への買い換えによる環境負荷の削減が期待できる場合でも、期待される効果を相殺するような大型化や不要な多機能型の機器への買い換えはさけるべきである。

4.2 本研究の算定評価の限界と今後の課題

本研究では、複数の環境負荷について30年間にわたるLCEとLC環境負荷の評価を試みたために、多くの仮定やデータの不完全さを持っており、評価結果が絶対的な結論を導いているとはいえないことを明記しておく。ひとつには、一部の負荷についてのみ経年的な原単位の削減効果を評価しており、評価のバランスは必ずしもとれていないこと、海外のエコファクターの利用、環境負荷項目として資源消費と固形廃棄物を算定していない点などである。

前2者については、評価対象とする全ての環境負荷についての原単位データの整備を進め、複数の負荷による評価の枠組みの精緻化をはかるとともに、日本で標準的に利用できるエコファクターについても算定事例を増やして検討を進める必要がある。固形廃棄物と資源消費についてはその算定のもととなるデータが不足しており、評価は困難ではあるが、間接負荷の占める割合の高い水質汚濁物質の評価と同様になることが考えられ、固形廃棄物と資源消費を算定評価した場合には、さらに買い換えを抑制し、使用期間を延長させることによる環境負荷削減の効果が高く評価されることが予測できる。

【謝辞】

本研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(課題番号08305021)の補助を受けたことを記して謝意を表す。また各種負荷量原単位の収集にあたりご支援を賜った国立環境研究所森口祐一氏と大阪大学下田吉之氏にあわせて謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 赤井誠: ライフサイクルアセスメントの標準化に向けて、第2回エコバランス国際会議講演集、pp18-21、1996
- 2) 城戸他: 財のライフサイクルエネルギーに基づく環境配慮行動評価に関する研究、第50回土木学会年次講演2-B、pp956-957、1995
- 3) (社)資源協会編: 家庭生活のライフサイクルエネルギー、あんほるめ、1994、 戦略LCA研究フォーラム: 製品の環境ライフサイクルアセスメント、(株)サイエンスフォーラム、1994、 建設省編: 流域別下水道整備総合計画調査指標と解説、日本下水道協会、1995、 (株)八千代エンジニアリング: 環境保全システム解明調査報告書、1991、など多数
- 4) 宮崎修行: 企業のエコバランス、(株)白桃書房、pp147-149、1996