研究論文

HDI 指標を用いた製品の社会影響評価手法の開発

湯 龍龍・伊坪 徳宏

Development of Social Impact Assessment Methodology for Industrial Products using HDI

Longlong TANG and Norihiro ITSUBO

Synopsis:

Objective. Social impact assessment is advocated as one of the three pillars toward sustainability. In the past, several attempts have been carried out to assess the social impact on the country level. The Genuine Progress Indicator (GPI) and the Human Development Index (HDI) are well known as socioeconomic indexes. However, there are still few studies for the development of the method of social impact. This study is aimed at the development of the social impact assessment method for product life cycle technique using HDI.

Methods. HDI is the general index that covered the following three components of human society; education, health and quality of life. We considered the linkage from the inventories (added value, water use, CO₂) of the product to the components of the HDI. Social impact factors developed in this study enable us to connect inventory data to HDI. The change of the HDI by the input of these inventory data can be regarded as the result of social life cycle assessment (SLCA).

Results and Discussion. Three lists of social impact factor were calculated for each country based on the SLCA method. Added value factors ranged from the magnitude of 1.4×10^{-6} to 2.4×10^{-3} (HDI/US\$/p), the score of developing country are higher than that of developed country. Water factor was calculated as a negative impact from 1.5×10^{-5} to 6.4×10^{-3} (HDI/m³/p), countries with little water resource have higher score. With regard to CO₂ factor, the total HDI loss of the whole world caused by CO₂ emission was calculated as about 1×10^{-16} (HDI/kg).

Conclusions. A social LCA methodology for industrial product using HDI was developed in this study. Three lists of social impact factor were prepared (for each country) to implement SLCA.

Keywords: Social LCA; HDI; Added Value; CO₂ Emission; Water Use

1. はじめに

サステナビリティの概念について最も知られるのが、1987年のブルントラント委員会の中で定義されたものである。ここでは「将来世代のニーズを損なうことなく現在の世代のニーズを満たす開発」を持続可能な開発として定義した¹⁾。更に1992年のリオサミットでは、持続可能な発展を最重要課題として位置付けられた²⁾。これを受けて、サステナビリティを評価する指標が多数開発されている。物理量に基づく指標として、Ecological Footprint³⁾ や Factor 4⁴⁾、Factor 10⁵⁾ など、経済側面をベースとした指標はISEW⁶⁾ や GPI⁷⁾ などが挙げられる。一方、社会側面を表す指標は、国連CSD指標⁸⁾ を代表とする分類型指

標と、国連開発計画 (UNDP) が採用する人間開発指数 (HDI) ⁹⁾ を代表とする統合型指標に分かれる。

分類型社会指標は、複雑な社会側面を網羅的に捉えることを重視するが、分類の数だけ結果が得られるため、結果の解釈が困難になる恐れがある。より少数の指標に集約することは解釈の容易化に有効である。HDIは国際機関が提唱しているため、比較的合意性が高い統合型指標と考えられる。社会の豊かさや進歩を、経済指標ではなく、「人間が自らの意思に基づいて自分の選択と機会の幅を拡大させること」を基軸概念とする新しい指標で表したのがHDIである。図1にHDIの算定方法を示す。各国の出生時平均余命、成人識字率・総就学率及び一人当たりGDP(購買力

図1 HDIの仕組み及び算定方法(人間開発報告書より引用)

平価ベース)を用いて、それぞれ「長寿で健康な生活」、「教育」及び「人間らしい生活水準」の3つの側面を定量化する。更に3つの側面に1/3ずつの重みをかけてHDIが算出される。HDIは国を対象とした評価に利用されている。

一方、製品を対象とした持続可能性評価はトリプルボトムラインの考え方をベースに、製品の環境、経済及び社会側面の影響評価に対応する手法の開発が求められている¹⁰⁾。環境側面の評価手法として、Life Cycle Assessment (LCA) はすでに国際規格化 (ISO14040) され、普及しつつある。経済側面の評価手法にはLife Cycle Costing (LCC) が挙げられる。現在はSETAC (環境毒物化学学会) ヨーロッパのワーキンググループによって、LCCのガイドラインの作成が進められている²⁶⁾。一方、製品の社会側面の影響評価手法として、Social LCA (SLCA) が提案されており、その重要性は認識されている¹¹⁾。

このニーズに応えるため、UNEP/SETAC Life Cycle Initiativeでは社会影響評価に関する作業部会が設立した¹²⁾。近年複数のSLCAに関わる研究論文¹⁴⁻¹⁸⁾ が発表されるようになった。しかし、これまでに実施されたSLCA研究の多くはデータ収集や影響領域の選定など概念について議論したものが多く、実用的な研究はごくわずかである。

そこで本研究は、製品ライフサイクルの社会影響を定量化できる汎用的なSLCA手法を提案することを目的とした。提案手法に用いる評価指標の選定にあたっては、結果の解釈が容易であることと、指標に対する社会的な合意性が相対的に高いことを優先した。そこで、本研究はUNDPが提唱する国レベルの統合型社会指標HDIを製品を対象としたSLCA手法に活用することとした。

2. これまでの研究動向及び本研究の特徴

これまでに提案されたSLCA手法は、トップダウン式とボトムアップ式に分けられる。

トップダウン式アプローチは、最終的に社会影響を受ける対象 (エンドポイント) を第一に決定し、その後エンドポイントに影響する重要な因子を抽出する方法である。SETACのLCIAガイドラインでは、人間の健康、自然環境、天然資源、人工環境をエンドポイントとして例示した¹³⁾。

SLCAにおいては、Weidemaら¹⁴⁾ が人間の健康を補完する形で、生活の質を調整した生存年 (QALY)、Dreyerら¹⁵⁾ が人間の健康ではなく、人間の「尊厳と幸福」をエンドポイントとして提案した。しかし、上に挙げた全てのエンドポイントはインベントリデータと関連付ける研究がまだない。

ボトムアップ式アプローチは、先にインベントリ項目を選択し、次いでこれらインベントリデータに関連の強い影響領域を抽出する方法である。既存研究が提案するインベントリ項目には、定量的なデータだけではなく、半定量的もしくは定性的なデータも多く含まれている。例えば、定量的なデータは賃金、怪我の件数、児童労働時間^{14, 20)} などがある。一方、定性的なデータは職務に対する満足度、地域コミュニケーション¹⁶⁾ などが見られる。このようにインベントリ項目は多岐にわたり、まだ合意が得られていない。

以上より、SLCA手法の概念については更なる議論が必要であるが、いくつか実用的な手法が提案されている。以下に主なSLCA研究の特徴を表1にまとめた。

Weidemaら¹⁴⁾ は、労働者の人権侵害や労働条件などに関するインベントリデータを収集し、被害件数や、深刻さ、被害期間などの情報をもとに、生活の質 (QoL) を考慮したQALYの低下分を推計する方法を提案した。しかし、製品ライフサイクルにおけるこれらインベントリデータの収集に実績が無く、実際に活用することが困難である。また、本手法は負の社会影響しか評価されない。

Hunkelerら¹⁷⁾ は、製品製造にかかる労働時間から収入を計算し、収入の増加によって得られる労働者の生活水準の向上を社会影響として評価する手法を開発した。この手法は、インベントリデータの収集が困難、かつ、労働者の生活水準のみ評価され、他の社会影響が考慮されないといった課題がある。

Norrisら¹⁸⁾ は、製品製造に伴う付加価値の増加が、間接的に国レベルの平均寿命に与える影響を定量化する手法を提案した。この評価手法は、製品の付加価値をインベントリデータとするため、データ収集が容易であることが大きな特徴である。一方、健康側面 (平均寿命) のみ評価されるほか、正の影響しか評価できないといった問題点が挙げられる。

上記既存文献の分析を踏まえて、製品のSLCAの現状と問題点を整理する。

- 社会影響の評価指標は合意に至っていない。
- 社会影響の評価範囲の網羅性が低い。
- 社会影響評価に適用されるインベントリデータが整備されていない。
- 負の社会影響あるいは正の社会影響のみを評価する研究

表1 既存研究の評価方法と特徴

	Weidemaら (2006) ¹⁴⁾	Hunkelerら (2006) ¹⁷⁾	Norrisら (2006) ¹⁸⁾
評価項目	労働条件（人権状況を含む）	労働者の生活水準	国民の健康
インベントリデータ	死亡、怪我、機会平等、児童労働、規則違反など	製品や素材製造の労働時間	製品の付加価値
手法	QoLを用いてインベントリからQALYを算出する	製品製造に関わる労働時間から収入を算出し、労働者が得られるサービス（生活水準）を推計する	付加価値と平均余命の関連付け
主な特徴	異なる労働条件に関するデータをQALYに集約できる	労働時間から労働者が得られるサービス（生活水準）が評価可能	インベントリデータ収集が容易
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・製品ライフサイクルにおけるデータ収集が困難 ・マイナス影響のみ評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・国別素材別労働時間のデータ整備が困難 ・労働者の生活水準しか評価できない ・プラス影響のみ評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・健康影響しか評価できない ・プラス影響のみ評価

が多い。正と負の双方を評価できる手法の開発が求められる。

本研究は上記問題点の解決を図るため、HDIを評価指標とした製品の社会影響評価手法を提案した。本手法は以下の特徴を持つ。

- ①評価指標であるHDIは、国際機関UNDPに採用され、他の社会指標に比べて比較的合意性の高い指標である。
- ②教育、健康、生活水準の三側面を網羅することができる。
- ③既存の環境や経済側面のインベントリデータ（例えば付加価値、水、CO₂）を社会影響評価に活用できる。
- ④正と負の影響を両方評価することが可能のため、製品ライフサイクルを通じた社会影響のトレードオフについて評価することができる。

3. SLCA手法の開発

3.1 手法の枠組

前節で述べたように、手法開発のプロセスはボトムアップ式アプローチとトップダウン式アプローチに分かれる。ボトムアップ式アプローチはより実用的であるが、評価手法の理念が見えにくい。それに対して、トップダウンアプローチは理念やコンセプトが明快であり、実施者が手法を理解しやすいことから、本研究はトップダウンアプローチを採用した。「人間開発」指標は、指標がシンプル、かつ合意性が相対的に高いことを考え、「人間開発」をエンドポイントとした。HDIでは、教育、健康、生活水準の3つの社会側面が人間開発に大きく影響するとされるため、本研究はこれらをミッドポイントとして選定した。さらにミッドポイントとインベントリの関連付けも行った。

Norrisら¹⁸⁾は各国の一人当たりGDPと平均寿命の関係を定量化し、この関係を製品評価に応用した。本研究はこ

の評価手法を拡張し、製品ライフサイクルを通じて付加価値が増加した時の正の社会影響と、環境負荷が発生した時の負の社会影響の双方を評価できる手法を開発した。

正の社会影響評価では、製品の付加価値データから国の健康側面だけではなく、教育、及び生活水準側面との関連付けも行うことによって、製品の付加価値増加がこれら3つの社会側面に与える影響を評価できるようにした。

次に、負の影響に関する評価手法を示す。UNDPが発行した2006⁹⁾年及び2007/2008²⁴⁾年人間開発報告書では、人間開発に最も影響を与える社会問題として水問題と気候変動を取り上げた。本研究は、水問題と気候変動問題が社会に与える負の影響として最も重要と考えた。これらの影響を評価に反映させるため、水消費量とCO₂排出量を製品のインベントリデータとし、これらが社会の健康側面と生活水準側面に与える負の影響を定量的に関係付けることとした。

最後に、教育、健康と生活水準の3つの社会側面（ミッドポイント）の影響を単一指標HDI（エンドポイント）に集約した。

これより、上記三側面を網羅し、かつこれらの影響を統合する社会影響評価手法を開発した。手法開発の成果として、国別、インベントリ項目別の社会影響評価係数リストを構築した（詳細は次章に示す）。図2に本評価手法の概念図とその利用方法を示す。

本評価手法を用いた社会影響評価手順は次の通りである。まず製品ライフサイクルのインベントリデータとして付加価値、水消費量、CO₂排出量を収集する。次に、各インベントリデータに、それぞれ対応する社会影響評価係数を乗じることによって、得られる製品ライフサイクルのHDI変化量を製品の社会影響とする。

図2 社会影響評価手法のフレームワーク

以下、付加価値増加、水消費とCO₂排出による社会影響の算定方法を式 (1) ~ (3) に示す。

付加価値係数と水係数は、国別の一人あたり付加価値もしくは水消費量の単位量増加によるHDIの変化量である。付加価値と水消費量は対象国の人口で割って、1人あたりの付加価値と水消費量となってから、社会影響係数に乗じて社会影響が算出される。

$$SI_{AV} = \sum_c \sum_p (AV_{c,p} / CAP_c \times SIF_{AV,c}) \quad (1)$$

SI_{AV} : 付加価値増加による製品ライフサイクルの社会影響の増加量 (HDI)

$AV_{c,p} / CAP_c$: 製品のプロセス別、国別の1人あたり付加価値の増分 (US\$/cap)

$SIF_{AV,c}$: 国別の付加価値係数 (HDI/US\$/cap)

$$SI_{WATER} = \sum_c \sum_p (WATER_{c,p} / CAP_c \times SIF_{WATER,c}) \quad (2)$$

SI_{WATER} : 水消費による製品ライフサイクルの社会影響の減少量 (HDI)

$WATER_{c,p} / CAP_c$: 製品のプロセス別、国別の一人あたり水消費量 (m³/cap)

$SIF_{WATER,c}$: 国別の水係数 (HDI/m³/cap)

CO₂係数は、1kg CO₂の排出による各国HDI変化量の総和であり、排出国によらず一定である。ライフサイクルCO₂排出量に直接CO₂係数を乗じることによって、CO₂排出による負の社会影響が算出される。

$$SI_{CO_2} = \sum_p CO_{2p} \times SIF_{CO_2} \quad (3)$$

SI_{CO_2} : 製品ライフサイクルCO₂排出による世界合計の社会影響減少量 (HDI)

CO_{2p} : 製品プロセス別のCO₂排出量 (kg)

SIF_{CO_2} : CO₂係数 (HDI/kg)

3.2 社会影響係数の算定方法

3.2.1 付加価値係数

図3に国別の付加価値係数 $SIF_{AV,c}$ の算定手順を示す。初めに1人あたりGDPの単位量増加による、健康側面の平均寿命、教育側面の総就学率及び成人識字率、生活水準側面の1人あたりGDP (PPP) の増分をそれぞれ算定した。次に、これら3つの側面の増分をHDIに換算したうえ、三分の一ずつ重みをかけて付加価値係数を算出した。

付加価値係数の算定は式 (4) のように定義した。式 (5) ~ (7) はそれぞれ付加価値係数の健康側面 $SIF_{AV-H,c}$ 、教育側面 $SIF_{AV-E,c}$ と生活水準側面 $SIF_{AV-G,c}$ の算定方法を示す。各項の増分は、「人間開発報告書2006」⁹⁾より公表される国別の1人当たりGDP、保健医療支出、平均寿命、教育支出、総就学率、成人識字率、1人当たりGDP (PPP) 及びHDIをもとに、相関関係を求めて算出された。表2にこれらの関連付けを行う際に利用した回帰式の傾きと決定係数 R^2 をまとめて示す。式 (4) 及び式 (6) で使われる重みづけ係数はHDIの定義にならった。

$$SIF_{AV,c} = (SIF_{AV-H,c} + SIF_{AV-E,c} + SIF_{AV-G,c}) / 3 \quad (4)$$

$$SIF_{AV-H,c} = \Delta H \times \Delta L_c \times \Delta HDI_H \quad (5)$$

$$SIF_{AV-E,c} = (\Delta E \times \Delta S_c \times \Delta HDI_S) \times 1/3 + (\Delta E \times \Delta A_c \times \Delta HDI_A) \times 2/3 \quad (6)$$

$$SIF_{AV-G,c} = \Delta G \times \Delta HDI_{G,c} \quad (7)$$

図3 付加価値係数の算定手順

表2 各付加価値係数算定プロセスのデータ及び結果

		データ	回帰式の傾き	決定係数R ²	出典
健康側面	ΔH	各国のGDP/人と保健医療支出/人	0.066	0.92	人間開発報告書(2006) n=177
	ΔL _c	各国のLN(保健医療支出/人)と平均寿命	4.464	0.53	
	ΔHDI _H	各国の平均寿命とHDI	0.013	0.83	
教育側面	ΔE	各国のGDP/人と教育支出/人	0.054	0.87	
	ΔS _c	各国のLN(教育支出/人)と総就学率	7.548	0.59	
	ΔHDI _S	各国の総就学率とHDI	0.009	0.78	
	ΔA _c	各国のLN(教育支出/人)と成人識字率	7.421	0.48	
	ΔHDI _A	各国の成人識字率とHDI	0.008	0.75	
生活水準側面	ΔG	各国のGDP/人とGDP(PPP)/人 (PPP:購買力平価ベースのGDP)	0.818	0.92	
	ΔHDI _{G,c}	各国のLN(GDP(PPP)/人)とHDI	0.142	0.85	

$SIF_{AV-H,c}$: 国別の1人あたりGDP増加による寿命増加由来のHDI増分

$SIF_{AV-E,c}$: 国別の1人あたりGDP増加による総就学率と成人識字率増加由来の合計HDI増分

$SIF_{AV-G,c}$: 国別の1人あたりGDP増加によるGDP (PPP)増加由来のHDI増分

ΔH : 1人あたりGDP増加による1人あたり保健医療支出の増分 ((US\$/cap) / (US\$/cap))

ΔL_c : 国別の1人あたり保健医療支出増加による平均寿命の増分 (年 / (US\$/cap))

ΔHDI_H : 平均寿命の増加によるHDIの増分 (HDI / 年)

ΔE : 1人あたりGDP増加による1人あたり教育支出の増分 ((US\$/cap) / (US\$/cap))

ΔS_c : 国別の1人あたり教育支出増加による総就学率の増

分 (% / (US\$/cap))

ΔHDI_S : 総就学率の増加によるHDIの増分 (HDI / %)

ΔA_c : 国別の1人あたり教育支出増加による成人識字率の増分 (% / (US\$/cap))

ΔHDI_A : 成人識字率の増加によるHDIの増分 (HDI / %)

ΔG : 1人あたりGDP増加による1人あたりGDP (PPP) の増分 ((US\$/cap) / (US\$/cap))

$\Delta HDI_{G,c}$: 国別の1人あたりGDP (PPP) の増加によるHDIの増分 (HDI / (US\$/cap))

図4に付加価値係数の算定結果とその内訳を示す。全体から見れば、付加価値係数を構成する3つの係数リストはともに右上がり傾向が見られ、1人当たりGDP順位の低い途上国と順位の高い先進国の間に最大3桁程度の差が開いていることがわかった。先進国の係数が低い理由としては、

図4 付加価値係数とその内訳 (n=177)

先進国の健康側面のパラメータである平均寿命、教育側面のパラメータである成人識字率及び総就学率がゴールポストに近く、1人当たりGDPが増えても改善効果が小さいためと考えられる。言い換えれば、同じ額の生産投資による社会影響の寄与度は途上国のほうが遥かに高いことになる。

3つの側面を比較すると、途上国は健康側面の影響が大きい、先進国は生活水準側面の影響の方が大きい。それは、健康水準の低い途上国での1US\$の増加による彼らの健康側面の改善度合が極めて大きいことによる。一方、先進国の健康や教育水準はすでに高いため、これら側面の改善度合は生活水準のそれより比較的に小さい。

3.2.2 水係数

水係数の算定手順を図5に示す。水資源の減少は生活用水の減少と食糧生産の低下の双方に寄与するものと考えられる。生活用水の減少は安全な水へのアクセス率の低下、平均寿命の減少へと関連付けた。また、水資源の減少は、水不足している国の食糧生産に影響する。貧しい国は輸入することが困難のため、食糧生産量が減少すれば栄養不足の人口割合が増加するものと予想される。本研究は、水不足の目安とされる1人あたり年間水使用量²⁵⁾が1,000m³以下、かつ一般的に経済的に豊かでない1人あたりGDPが10,000US\$以下の計120ヶ国を対象に、水資源の減少から食糧生産量の減少、栄養不足率の増加、平均寿命の低減へと関連付けた。最後に、水消費増加による2通りの影響を合計して国別の水係数を算定した。

国別の水係数の算定は式(8)、生活用水側面及び食糧生産側面の算定はそれぞれ式(9)と式(10)に示した。水消費の増加による生活用水の減少率($\Delta Dome$)は、世界

177ヶ国の生活用水¹⁹⁾が水使用量¹⁹⁾に占める割合の平均値を用いた。ここでの水使用量は農業用水、生活用水と工業用水の合計である。その他各項は、FAO AQUASTATのオンラインデータベース¹⁹⁾より得た国別の水使用量と食糧生産量、人間開発報告書2006⁹⁾より収集した栄養不足率と安全な水へのアクセス不能率データをもとに、相関関係を求めて算出された。表3に関連付けを行う際に利用した回帰式の傾きと決定係数 R^2 をまとめて示した。

$$SIF_{water,c} = SIF_{water-D,c} + SIF_{water-F,c} \quad (8)$$

$$SIF_{water-D,c} = \Delta Dome \times \Delta A_c \times \Delta AL \times \Delta HDI_H \quad (9)$$

$$SIF_{water-F,c} = \Delta F \times \Delta M_c \times \Delta ML \times \Delta HDI_H \quad (10)$$

$SIF_{water-D,c}$: 国別の1人あたり水消費の増加による生活用水減少由来のHDI損失

$SIF_{water-F,c}$: 国別の1人あたり水消費の増加による食糧生産減少由来のHDI損失

$\Delta Dome$: 各国平均の生活用水が水使用量に占める割合 (%)

ΔA_c : 国別の1人あたり生活用水減少による安全な水へのアクセス不能率の増加分 (%/(m³/cap))

ΔAL : 安全な水へのアクセス不能率の増加による平均寿命の低下分 (年/%)

ΔHDI_H : 国別の平均寿命の低下によるHDIの低下分 (HDI/年)

ΔF : 1人あたり水使用量の減少による1人あたり食糧生産量の減少分 ((t/cap)/(m³/cap))

ΔM_c : 国別の1人あたり食糧生産量減少による栄養不足率の増分 (%/(t/cap))

ΔML : 栄養不足率の増加による平均寿命の低下分 (年/%)

図5 水係数の算定手順

表3 水係数算定プロセスのデータ及び結果

		データ	回帰式の傾き	決定係数 R^2	出典
生活用水	$\Delta Dome$	13.6 %（各国平均の生活用水/人と水使用量/人の比率）	—	—	FAO-AQUASTAT 人間開発報告書（2006） n=177
	ΔA_c	LN(生活用水/人)と水へのアクセス不能率	-9.98	0.43	
	ΔAL	水アクセス不能率と平均寿命	-0.49	0.52	
	ΔHDI_H	平均寿命とHDI	-0.013	0.83	
食糧生産	ΔF	水使用量/人と食糧生産量/人	0.639	0.37	FAO-AQUASTAT 人間開発報告書（2006）, n=120 (GDP/人<10000US\$, 水使用量/人<1000m ³)
	ΔM_c	LN(食糧生産量/人)と栄養不足率	-16.38	0.53	
	ΔML	栄養不足率と平均寿命	-0.51	0.45	

図6は各国の水係数及びその内訳（生活用水係数と食糧生産係数）を1人あたりGDPの高い順に示す。各国の水係数（合計）はやや右上がり傾向となり、途上国が先進国より約一桁大きい値となった。一方、同じ先進国あるいは途上国においても、水資源の違いによって大きい差が見られた。先進国の中に水係数が最も大きい国は水資源の少ないシンガポールとなった。中東のリビアやアフリカ地域の多くの国も水資源が少ないため水係数が大きかった。

食糧生産係数は比較的に水資源が少ない、かつ経済的に豊かでない国を対象に算定した。その結果、食糧生産係数は先進国の生活用水係数と同レベルの影響を持つが、それぞれ国の生活用水係数に比べて、平均的に小さい結果となった。これは、水資源減少による栄養不足の健康影響が、安全な生活用水へのアクセス低下由来の健康影響より低いことを意味する。

水係数算定の各プロセス（表3）の中に、各国の一人あたり総水使用量と穀物生産量の相関が低かった。水資源が少ない発展途上国に限定することによって、決定係数を高めるこ

とができたが、それでも他のプロセスより低かった。今後は穀物生産量に影響する説明変数を複数抽出し、重回帰分析を行うことによって精度を高めることが課題と言える。

3.2.3 CO₂係数

本研究は、日本版被害算定型影響評価手法（LIME）²¹⁾のCO₂被害係数²²⁾を引用し、CO₂の単位量排出による全世界の穀物生産被害量、エネルギー消費損失量、海面上昇由来の土地損失面積をそれぞれ金額換算して、生活水準側面への負の影響とした。一方、CO₂の単位量排出による全世界の余命損失は健康側面への負の影響と見なす。LIMEの穀物生産被害量は、世界8地域における小麦、稲、トウモロコシの正味の生産被害量が含まれる。エネルギー消費量の増分は、世界9地域の冷暖房使用によるエネルギー消費増加量を指す。海面上昇による土地損失は世界9地域の陸地、湿地及びツンドラの損失面積が含まれている。LIMEでは健康影響をDALY（Disability Adjusted Life Year）、農作物など社会資産への影響を円で表示する。

図6 水係数とその内訳 (生活用水n=177、食糧生産n=120)

図7に本研究のCO₂係数の算定手順を示す。健康側面は、まずCO₂単位量排出による地域別のDALYを各地域の平均寿命の損失と見なす。次に地域別の平均寿命と平均HDIとの関連付けを行うことによって、地域別のHDI損失を算出し、これらの合計を健康側面のHDI損失とした。生活水準側面は、まずCO₂単位量排出による地域別の穀物生産量損失、海面上昇由来の土地損失及びエネルギー消費損失を各地域の損失金額に変換した。次に地域別の平均1人あたりGDPと平均HDIの関係をもとに、地域別のHDIを算出し、これらの合計を生活水準側面のHDI損失とした。最後は両側面のHDI損失を合計して、CO₂係数を算出した。

土地損失とエネルギー消費損失の金額換算は、LIMEのデータ²²⁾を引用した。穀物の金額換算はFAOより収集した2000年から2008年までのデータ²³⁾の平均値を用いた。CO₂係数はCO₂排出による世界各国のHDI損失の合計と定義し、どの国から排出しても同じ値となる。

式(11)にCO₂係数の算定式を、式(12)～(15)にCO₂係数を構成する各要素の算定式を示した。各算定式に用いたデータは表4にまとめた。

$$SIF_{CO_2} = SIF_{CO_2-C} + SIF_{CO_2-L} + SIF_{CO_2-En} + SIF_{CO_2-D} \quad (11)$$

$$SIF_{CO_2-C} = \sum_R (\Delta C_R \times \Delta CC / CAP_R \times \Delta HDI_{G,R}) \quad (12)$$

$$SIF_{CO_2-L} = \sum_R (\Delta L_R \times \Delta LC / CAP_R \times \Delta HDI_{G,R}) \quad (13)$$

$$SIF_{CO_2-En} = \sum_R (\Delta En_R \times \Delta EnC / CAP_R \times \Delta HDI_{G,R}) \quad (14)$$

$$SIF_{CO_2-D} = \sum_R (\Delta D_R / CAP_R \times \Delta HDI_{D,R}) \quad (15)$$

SIF_{CO_2-C} : 1kg CO₂の排出による地域別の穀物生産被害由来のHDI損失の合計

SIF_{CO_2-L} : 1kg CO₂の排出による地域別の土地損失由来のHDI損失の合計

SIF_{CO_2-En} : 1kg CO₂の排出による地域別のエネルギー消費損失由来のHDI損失の合計

SIF_{CO_2-D} : 1kg CO₂の排出による地域別の健康損失由来のHDI損失の合計

ΔC_R : 1kg CO₂の排出による地域別の穀物生産被害量 (kg/kg)

ΔCC : 穀物別の重量単位あたりの価格 (US\$/kg)

CAP_R : 地域別人口 (people)

$\Delta HDI_{G,R}$: 地域別の平均1人あたりGDP減少による平均HDIの低下分 (HDI / (US\$/cap))

ΔL_R : 1kg CO₂の排出による地域別土地種類別の損失面積 (m²/kg)

ΔLC_R : 土地種類別と地域別の土地面積単位あたりの価格 (US\$/m²)

ΔEn_R : 1kg CO₂の排出による地域別のエネルギー消費損失 (Mtoe/kg)

ΔEnC : エネルギー別の単位あたり価格 (US\$/Mtoe)

ΔD_R : 1kg CO₂の排出による地域別の健康被害 (DALY/kg)

$\Delta HDI_{D,R}$: 地域別の平均寿命減少による平均HDIの低下分 (HDI/年)

図8に1kg CO₂の排出に伴い、エネルギー消費損失、健康被害、土地損失によるHDIの低下分、図9に穀物生産量減少によるHDIの低下分をそれぞれ地域別に示す。これらの合計は 9.83×10^{-17} HDI/kg-CO₂と算定された。そのうち、土地損失によるHDIの損失が最も大きく、次いでエネルギー消費損失、穀物被害と健康損失の順となった。

図7 CO₂係数の算定フロー表4 CO₂係数算定プロセスのデータ及び結果

		データ	回帰式の傾き	決定係数 R ²	出典
穀物損失	ΔC _R	CO ₂ 排出単位あたり地域別の穀物生産被害量			ライフサイクル環境影響評価手法、108pp
	ΔC _C	穀物別重量単位あたりの価格、イネ：263.7US\$/t トウモロコシ：121.8US\$/t、コムギ：174.3US\$/t			FAO(2000年～2008年の平均値)
	ΔCAP _R	地域別人口の合計			人間開発報告書(2006)
	ΔHDI _{G,R}	地域別平均のLN(GDP/人)と平均HDI	0.091	0.83	
土地損失	ΔL _R	CO ₂ 排出単位あたり地域別の土地損失面積			ライフサイクル環境影響評価手法、112pp
	ΔL _{C_R}	土地種類別と地域別の土地面積単位あたり価格 OECD諸国：陸地US\$2M/km ² 、湿地US\$2.5M/km ² 非OECD諸国：陸地US\$1M/km ² 、湿地US\$1.25M/km ²			ライフサイクル環境影響評価手法、113pp
エネルギー損失	ΔEn _R	CO ₂ 排出単位あたり地域別エネルギー消費損失量			ライフサイクル環境影響評価手法、111pp
	ΔEn _C	エネルギー別単位あたり価格、灯油：3.67円/千kcal 電力：17.8円/kWh(為替：1US\$=125円)			ライフサイクル環境影響評価手法、117pp
健康損失	ΔD _R	CO ₂ 排出単位あたり地域別の健康被害			ライフサイクル環境影響評価手法、102pp
	ΔHDI _{D,R}	地域別の平均寿命と平均HDI	0.0156	0.92	人間開発報告書(2006)

土地損失による影響では、PAS(環太平洋地域)の水没面積が大きいため、HDI損失も大きいものと推定された。AFR(アフリカ)の損失面積がLAM(ラテンアメリカ)より小さいが、損失金額単位あたりのHDI変化量は経済水準の低い国ほど高いため、AFRはPASに次いで二番目に大きい結果となった。

エネルギー消費損失では、比較的寒いEEU(東欧)とFSU(旧ソ連)の暖房使用量が減るため、エネルギー消費量が減少する。一方、温暖なPASとSAS(南アジア)は冷房使用量が増加するものと予測され、エネルギー消費量が増える。全球レベルでは、エネルギー消費量が増大する結果となった。

図8 CO₂係数の内訳 (CO₂単位あたり排出による地域別要因別のHDI損失量)。(注) 地域分類の略称の意味は次の通り。NAM: North America, LAM: Latin America and the Caribbean, AFR: Sub-Saharan Africa, MEA: Middle East and North Africa, WEU: Western Europe, EEU: Central and Eastern Europe, FSU: Newly independent states of the former Soviet Union, CPA: Centrally planned Asia and China, SAS: South Asia, PAS: Other Pacific Asia, PAO: Pacific OECD

図9 CO₂係数の内訳 (CO₂単位あたり排出による地域別穀物生産量減少由来のHDI損失量)

穀物の収量変化については、南アジアは穀物の減収量が大きい、かつ損失金額単位あたりのHDI低下分が比較的大きいため、HDIの損失が大きかった。一方、東南アジアでは温暖化によって米の生産量が逆に増えるものと予測された。各地域の合計では損失の方が大きかった。

健康被害はアフリカと中東でのHDI損失が比較的に大きい、地域間の差は土地損失、エネルギー消費損失、穀物被害に比べて小さい。その理由として、損失余命単位あたりのHDI低下分が地域間の差異が小さいに対して、損失金額単位あたりのHDI低下分が経済水準の低い地域ほど大きくなることが考えられる。

3.3 社会影響係数のまとめ

本研究で算定した付加価値、水及びCO₂係数を表5にまとめて示す。付加価値係数及び水係数は国ごとに算定した。CO₂係数はCO₂排出国によらず、全球規模での影響量が一

定であるため、どの国でも同じ値となる。図10に付加価値、水及びCO₂の係数リストを一人あたりGDPの大きい順で示す。

付加価値係数は、全体的に途上国のほうが先進国より高かった。これは、1人あたりGDPの単位あたり増加による健康、教育及び生活水準の各側面の増分が、途上国のほうが先進国より大きいためである。

水係数は経済水準が低い、かつ水資源量が少ない国ほど係数が高かった。経済水準の違いによって、途上国と先進国の間は約1桁の差が見られた。一方、水資源の違いによって、先進国同士でも約1桁の差があった。

CO₂係数について、1kg CO₂の排出による世界各国の健康被害と社会資産損失の合計は 9.8×10^{-17} HDIと算定された。CO₂係数の算定はCO₂被害評価をベースとしており、今後CO₂被害評価の網羅性や精度の向上に伴い、値が大きくなる可能性があると考えられる。

表5 国別係数一覧表(HDI順)。「-」: データ不足のため算出できなかった係数

HDI 順位	国名	付加価値係数 HDI/(US\$/p)	水係数 HDI/(m ³ /p)	CO ₂ 係数 HDI/kg	HDI 順位	国名	付加価値係数 HDI/(US\$/p)	水係数 HDI/(m ³ /p)	CO ₂ 係数 HDI/kg
1	Norway	1.54E-06	7.58E-05	9.83E-17	90	Fiji	2.99E-05	7.74E-04	9.83E-17
2	Iceland	1.85E-06	4.63E-05	9.83E-17	91	Paraguay	7.50E-05	6.97E-04	9.83E-17
3	Australia	2.63E-06	5.08E-05	9.83E-17	92	Turkey	1.76E-05	1.74E-04	9.83E-17
4	Ireland	2.07E-06	1.39E-04	9.83E-17	93	Sri Lanka	1.20E-04	8.87E-04	9.83E-17
5	Sweden	2.14E-06	8.19E-05	9.83E-17	94	Dominican Republic	7.80E-05	2.72E-04	9.83E-17
6	Canada	2.54E-06	3.29E-05	9.83E-17	95	Belize	2.65E-05	2.29E-04	9.83E-17
7	Japan	2.70E-06	6.57E-05	9.83E-17	96	Iran, Islamic Rep.	3.16E-05	1.25E-04	9.83E-17
8	United States	1.92E-06	4.39E-05	9.83E-17	97	Georgia	1.59E-04	2.10E-04	9.83E-17
9	Switzerland	1.99E-06	1.06E-04	9.83E-17	98	Maldives	2.37E-05	1.00E-03	9.83E-17
10	Netherlands	2.39E-06	2.68E-04	9.83E-17	99	Azerbaijan	1.82E-04	9.03E-05	9.83E-17
11	Finland	2.40E-06	1.47E-04	9.83E-17	100	Occupied Palestinian Territories	—	—	9.83E-17
12	Luxembourg	1.37E-06	1.75E-04	9.83E-17	101	El Salvador	3.93E-05	4.81E-04	9.83E-17
13	Belgium	2.37E-06	9.39E-05	9.83E-17	102	Algeria	2.90E-05	4.15E-04	9.83E-17
14	Austria	2.47E-06	5.67E-05	9.83E-17	103	Guyana	5.86E-05	2.43E-04	9.83E-17
15	Denmark	1.89E-06	2.25E-04	9.83E-17	104	Jamaica	3.03E-05	3.90E-04	9.83E-17
16	France	2.36E-06	1.04E-04	9.83E-17	105	Turkmenistan	6.85E-05	1.03E-04	9.83E-17
17	Italy	2.84E-06	6.79E-05	9.83E-17	106	Cape Verde	3.45E-05	3.25E-03	9.83E-17
18	United Kingdom	2.34E-06	2.09E-04	9.83E-17	107	Syrian Arab Republic	7.24E-05	2.59E-04	9.83E-17
19	Spain	3.51E-06	7.67E-05	9.83E-17	108	Indonesia	2.12E-04	4.57E-04	9.83E-17
20	New Zealand	3.15E-06	3.55E-05	9.83E-17	109	Viet Nam	2.81E-04	2.31E-04	9.83E-17
21	Germany	2.50E-06	1.57E-04	9.83E-17	110	Kyrgyzstan	2.13E-04	1.48E-04	9.83E-17
22	Hong Kong (China)	3.35E-06	—	9.83E-17	111	Egypt	8.27E-05	2.26E-04	9.83E-17
23	Israel	3.69E-06	9.53E-05	9.83E-17	112	Nicaragua	9.34E-05	4.99E-04	9.83E-17
24	Greece	4.48E-06	6.99E-05	9.83E-17	113	Uzbekistan	1.65E-04	8.56E-05	9.83E-17
25	Singapore	5.99E-06	4.52E-04	9.83E-17	114	Moldova, Rep.	1.13E-04	2.24E-04	9.83E-17
26	Korea, Rep.	6.84E-06	6.44E-05	9.83E-17	115	Bolivia	6.26E-05	5.97E-04	9.83E-17
27	Slovenia	4.18E-06	—	9.83E-17	116	Mongolia	9.62E-05	7.00E-04	9.83E-17
28	Portugal	4.34E-06	8.79E-05	9.83E-17	117	Honduras	7.18E-05	1.07E-03	9.83E-17
29	Cyprus	4.73E-06	1.31E-04	9.83E-17	118	Guatemala	7.41E-05	1.05E-03	9.83E-17
30	Czech Republic	6.07E-06	1.17E-04	9.83E-17	119	Vanuatu	4.94E-05	—	9.83E-17
31	Barbados	6.50E-06	8.02E-05	9.83E-17	120	Equatorial Guinea	4.92E-05	4.88E-05	9.83E-17
32	Malta	5.16E-06	2.42E-04	9.83E-17	121	South Africa	1.64E-05	2.40E-04	9.83E-17
33	Kuwait	4.71E-06	1.22E-04	9.83E-17	122	Tajikistan	6.00E-04	1.31E-04	9.83E-17
34	Brunei Darussalam	6.06E-06	—	9.83E-17	123	Morocco	6.47E-05	3.48E-04	9.83E-17
35	Hungary	6.26E-06	4.63E-05	9.83E-17	124	Gabon	1.95E-05	2.05E-04	9.83E-17
36	Argentina	1.83E-05	1.18E-04	9.83E-17	125	Namibia	2.07E-05	1.11E-03	9.83E-17
37	Poland	1.05E-05	2.88E-04	9.83E-17	126	India	2.33E-04	3.74E-04	9.83E-17
38	Chile	1.60E-05	1.84E-04	9.83E-17	127	Sao Tome and Principe	1.14E-04	—	9.83E-17
39	Bahrain	6.69E-06	5.47E-05	9.83E-17	128	Solomon Islands	1.31E-04	—	9.83E-17
40	Estonia	8.75E-06	1.51E-05	9.83E-17	129	Cambodia	3.44E-04	3.22E-03	9.83E-17
41	Lithuania	1.02E-05	7.48E-05	9.83E-17	130	Myanmar	1.13E-04	1.11E-03	9.83E-17
42	Slovakia	9.15E-06	8.29E-05	9.83E-17	131	Botswana	2.14E-05	2.03E-04	9.83E-17
43	Uruguay	2.95E-05	4.68E-04	9.83E-17	132	Comoros	2.03E-04	1.49E-03	9.83E-17
44	Croatia	8.89E-06	7.37E-05	9.83E-17	133	Lao People's Dem. Rep.	3.87E-04	5.08E-04	9.83E-17
45	Latvia	1.35E-05	2.55E-04	9.83E-17	134	Pakistan	3.96E-04	4.31E-04	9.83E-17
46	Qatar	5.40E-06	1.04E-04	9.83E-17	135	Bhutan	1.14E-04	8.96E-04	9.83E-17
47	Seychelles	8.31E-06	—	9.83E-17	136	Ghana	3.27E-04	1.08E-03	9.83E-17
48	Costa Rica	1.43E-05	1.04E-04	9.83E-17	137	Bangladesh	4.33E-04	7.01E-04	9.83E-17
49	United Arab Emirates	6.58E-06	7.56E-05	9.83E-17	138	Nepal	4.96E-04	9.72E-04	9.83E-17
50	Cuba	—	6.44E-05	9.83E-17	139	Papua New Guinea	1.49E-04	1.10E-03	9.83E-17
51	Saint Kitts Nevis	1.05E-05	—	9.83E-17	140	Congo	1.59E-04	2.69E-03	9.83E-17
52	Bahamas	6.51E-06	—	9.83E-17	141	Sudan	1.65E-04	—	9.83E-17
53	Mexico	1.37E-05	1.76E-04	9.83E-17	142	Timor-Leste	1.45E-04	—	9.83E-17
54	Bulgaria	2.33E-05	3.98E-04	9.83E-17	143	Madagascar	4.98E-04	6.24E-04	9.83E-17
55	Tonga	2.71E-05	—	9.83E-17	144	Cameroon	1.70E-04	9.96E-04	9.83E-17
56	Oman	1.00E-05	2.37E-04	9.83E-17	145	Uganda	3.52E-04	2.13E-03	9.83E-17
57	Trinidad and Tobago	1.48E-05	5.54E-05	9.83E-17	146	Swaziland	3.34E-05	4.42E-04	9.83E-17
58	Panama	1.78E-05	1.93E-04	9.83E-17	147	Togo	4.16E-04	9.85E-04	9.83E-17
59	Antigua and Barbuda	9.48E-06	2.38E-04	9.83E-17	148	Djibouti	8.05E-05	4.19E-04	9.83E-17
60	Romania	2.36E-05	3.96E-04	9.83E-17	149	Lesotho	7.47E-05	8.03E-04	9.83E-17
61	Malaysia	1.90E-05	4.42E-04	9.83E-17	150	Yemen	1.56E-04	1.35E-03	9.83E-17
62	Bosnia and Herzegovina	2.68E-05	1.13E-04	9.83E-17	151	Zimbabwe	2.10E-04	6.83E-04	9.83E-17
63	Mauritius	2.00E-05	7.18E-05	9.83E-17	152	Kenya	2.25E-04	9.18E-04	9.83E-17
64	Libyan Arab Jamahiriya	2.24E-05	1.90E-03	9.83E-17	153	Mauritania	1.61E-04	8.67E-04	9.83E-17
65	Russian Federation	2.09E-05	1.84E-04	9.83E-17	154	Haiti	3.12E-04	1.99E-03	9.83E-17
66	Macedonia, TFYR	2.62E-05	8.42E-05	9.83E-17	155	Gambia	3.67E-04	1.96E-03	9.83E-17
67	Belarus	2.79E-05	2.03E-04	9.83E-17	156	Senegal	1.53E-04	1.50E-03	9.83E-17
68	Dominica	2.17E-05	—	9.83E-17	157	Eritrea	4.66E-04	6.35E-03	9.83E-17
69	Brazil	2.44E-05	2.30E-04	9.83E-17	158	Rwanda	6.07E-04	2.41E-03	9.83E-17
70	Colombia	2.48E-05	2.59E-04	9.83E-17	159	Nigeria	4.27E-04	8.95E-04	9.83E-17
71	Saint Lucia	1.90E-05	—	9.83E-17	160	Guinea	5.03E-04	9.17E-04	9.83E-17
72	Venezuela	2.75E-05	6.67E-04	9.83E-17	161	Angola	9.16E-05	2.37E-03	9.83E-17
73	Albania	4.34E-05	1.97E-04	9.83E-17	162	Tanzania	3.80E-04	9.70E-04	9.83E-17
74	Thailand	4.05E-05	2.78E-04	9.83E-17	163	Benin	2.39E-04	2.10E-03	9.83E-17
75	Samoa (Western)	3.41E-05	—	9.83E-17	164	Cote d'Ivoire	2.02E-04	9.75E-04	9.83E-17
76	Saudi Arabia	8.73E-06	1.29E-04	9.83E-17	165	Zambia	2.22E-04	8.10E-04	9.83E-17
77	Ukraine	4.83E-05	1.59E-04	9.83E-17	166	Malawi	4.45E-04	1.04E-03	9.83E-17
78	Lebanon	2.05E-05	1.90E-04	9.83E-17	167	Congo, Dem. Rep.	2.42E-03	3.46E-03	9.83E-17
79	Kazakhstan	4.57E-05	2.23E-04	9.83E-17	168	Mozambique	2.86E-04	3.04E-03	9.83E-17
80	Armenia	1.49E-04	1.61E-04	9.83E-17	169	Burundi	2.35E-03	1.58E-03	9.83E-17
81	China	8.32E-05	4.10E-04	9.83E-17	170	Ethiopia	5.93E-04	2.40E-03	9.83E-17
82	Peru	4.62E-05	3.13E-04	9.83E-17	171	Chad	2.82E-04	2.54E-03	9.83E-17
83	Ecuador	5.15E-05	5.58E-05	9.83E-17	172	Central African Republic	4.50E-04	1.90E-03	9.83E-17
84	Philippines	1.31E-04	2.89E-04	9.83E-17	173	Guinea-Bissau	4.92E-04	6.06E-04	9.83E-17
85	Grenada	1.63E-05	—	9.83E-17	174	Burkina Faso	2.77E-04	1.34E-03	9.83E-17
86	Jordan	2.93E-05	4.40E-04	9.83E-17	175	Mali	2.45E-04	3.93E-04	9.83E-17
87	Tunisia	2.80E-05	3.53E-04	9.83E-17	176	Sierra Leone	5.35E-04	2.98E-03	9.83E-17
88	Saint Vincent and Grenadines	1.82E-05	—	9.83E-17	177	Niger	4.84E-04	1.63E-03	9.83E-17
89	Suriname	3.20E-05	1.33E-04	9.83E-17

図10 付加価値係数、水係数とCO₂係数リスト

4. 結論

製品の持続可能性評価手法において、社会側面に関する情報を提供することが重要と認識されているものの、指標の意味が明快で、かつ、実践的な評価手法は少ないのが現状である。本研究は、教育、健康、生活水準の3つの側面を網羅するHDIを社会影響指標とした製品を対象とするSocial LCA手法を開発した。その成果として、インベントリ項目である付加価値、水、CO₂がそれぞれHDIに与える影響を3つの国別の社会影響評価係数リストとして算定した(表5)。

本研究が開発した係数リストを用いれば、CO₂や水などすでにLCAで検討されているインベントリデータを活用することによって、環境影響と社会影響を同時に評価することが可能となる。これに経済(例:コスト)側面に関する情報を加えることで、トリプルボトムラインを網羅したサステナビリティ評価を実務レベルで検討することができるものと期待される。

一方、手法開発にあたっては、以下のような課題と限界があった。今後は以下に挙げる事項の解決に向けた検討が求められる。

社会影響項目をすべて網羅しているわけではないこと: 本研究で用いたHDI指数は、教育、健康、生活水準の3つの側面を考慮するが、ジェンダーや貧困などほかにも様々な側面が挙げられる。より包括的な社会影響評価指標の開発に向けた検討が求められる。

プロセスの関連付けを簡素にしていること: 本研究では図2に示したフローに基づいて手法を開発したが、実際には社会影響までの経路はより複雑であるものと考えられる。例えばGDPの増加は、医療体制や教育施設の充実のみで

なく、水不足や温暖化による影響を緩和するための施設の整備などに活用され得ることが想定されるが、本研究ではこれらのプロセスについては考慮していない。

係数の精度が一部粗いこと: 特に、水係数を算定する際のプロセスにおいて信頼性が相対的に低いものが含まれる。今後は各国のパラメータを収集し、複数の説明変数を用いて重回帰分析を行うなどして、信頼性を向上させることが求められる。CO₂係数はLIMEの評価範囲を参照したが、生物多様性に対する影響が含まれないなど、改善の余地が残されている。

上記の課題の解決に向けた検討とあわせて、評価事例の蓄積により、本手法の利用可能性についてさらに検討することも求められる。

(平成22年3月18日受付、平成22年9月14日採択)

参考文献

- 1) World Commission on Environment and Development (1987): Our Common Future, Oxford University Press, New York, 43
- 2) United Nations, Agenda 21 Earth Summit: United Nations Program of Action from Rio, UN Division for Sustainable Development (DSD) ホームページ, 入手先 <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_00.shtml>, (参照2008-9-1)
- 3) Global Footprint Network, ECOLOGICAL FOOTPRINT STANDARDS 2009, Global Footprint Network ホームページ, 入手先 <http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological_Footprint_Standards_2009.pdf>, (参照2008-8-10)

- 4) Weizsacker, Ernst Ulrich von, Amory B. Lovins, L. Hunter Lovins (1997): Factor Four: Doubling Wealth- Halving Resource Use, Earthscan Publications Ltd, London, U.K., 224
- 5) Schmidt-Bleek, F. (1998): Factor 10: making sustainability accountable-putting resource productivity into praxis, Factor 10 Institute, Carnoules France, 67
- 6) H.E. Daly, J.B. Cobb Jr. (1989): For the Common Good: Redirecting the Economy Toward Community, the Environment, and a Sustainable Future, Beacon Press, Boston, U.S.A., 534
- 7) Anielski, Rowe, M. Anielski, J. Rowe (1999): The Genuine Progress Indicator-1998 Update, Redefining Progress, San Francisco, U.S.A., 61
- 8) United Nations, CSD Indicators of Sustainable Development, UN Department of Economic and Social Affairsホームページ, 入手先<http://www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ind/ind_csdindi.shtml>, (参照 2008-8-10)
- 9) UNDP, Human Development Report 2006, UNDP Human Development Reportsホームページ, 入手先<<http://hdr.undp.org/en/media/HDR06-complete.pdf>>, (参照 2008-8-1)
- 10) Remmen A., Jensen A.A., Frydendal J., Life Cycle Management A Business Guide to Sustainability, UNEP/ SETAC Life Cycle Initiativeホームページ, 入手先<<http://www.uneptie.org/shared/publications/pdf/DTiX0889xPA-LifeCycleManagement.pdf>>, (参照 2008-8-20)
- 11) Griebhammer R., Benoît C., Dreyer LC., Flysjö A., Manhart A., Mazijn B., Méthot A., Weidema BP., Feasibility Study: Integration of social aspects into LCA, Discussion Paper from UNEP-SETAC Task Force Integration of Social Aspects in LCA meetings in Bologna (January 2005), Lille (May 2005) and Brussels (November 2005), Ghent Universityホームページ, 入手先<<https://biblio.ugent.be/record/512499>>, (参照 2008-8-15)
- 12) Catherine Benoît, Gregory Norris, Sonia Valdivia, Andreas Ciroth, Asa Moberg, Ulrike Bos, Siddharth Prakash, Cassia Ugaya, Tabea Beck (2010): Int. J. LCA, 15 (2), 156-163
- 13) Udo de Haes A.H., Finnveden G., Goedkoop M., Hauschild M., Hertwich E.G., Hofstetter P., Jolliet O., Klöpffer W., Krewitt W., Lindeijer E., Müller-Wenk R., Olsen S.I., Pennington D.W., Potting J., Steen B. (2002): Life-Cycle Impact Assessment: Striving towards Best Practice, SETAC Press, Pensacola, U.S.A., 272
- 14) Weidema B.P. (2006): Int. J. LCA, 11 (1), 89-96
- 15) Dreyer L., Hauschild M., Schierbeck J. (2006): Int. J. LCA, 11 (2) 88-97
- 16) Jørgensen, A., Le Bocq, A., Nazarkina, L., Hauschild, M. (2008): Int. J. LCA, 13 (2) 96-03
- 17) Hunkeler D. (2006): Int. J. LCA, 11 (6), 371-382
- 18) Norris G.R. (2006): Int. J. LCA, 11 (1), 97-104
- 19) 国際連合食糧農業機関 (FAO), AQUASTATオンラインデータベース, FAO AQUASTATホームページ, 入手先<<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>, (参照 2008-7-1)
- 20) Barthel L., Wolf M.A., Eyerer P. (2005): Methodology of Life Cycle Sustainability for Sustainability Assessments, 11th Annual International Sustainable Development Research Conference (AISDR), 6th-8th of June 2005, Helsinki, Finland
- 21) Itsubo N., Inaba A. (2003): Int. J. LCA, 8 (5), 305
- 22) 伊坪徳宏, 稲葉敦 (2005): ライフサイクル環境影響評価手法, 丸善株式会社, 東京, 102-117
- 23) 国際連合食糧農業機関 (FAO), International commodity prices, FAOSTATホームページ, 入手先<<http://www.fao.org/es/esc/prices>>, (参照 2008-7-10)
- 24) UNDP, Human Development Report 2007/2008, UNDP Human Development Reportsホームページ, 入手先<http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_EN_Complete.pdf>, (参照 2008-8-1)
- 25) 国土交通省, 平成21年版日本の水資源について～総合水資源管理の推進～, 水資源ホームページ, 入手先<<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/hakusyo/H21/>>, (参照 2008-7-1)
- 26) Walter Klöpffer (2006): Int. J. LCA, 11 (Special Issue 1), 116-122