

# 環境・経済・社会・ヒューマンファクターにかかわる評価 指標に関する研究

誌名	環境科学会誌 = Environmental science
ISSN	09150048
著者名	林,希一郎 伊東,英幸 古賀,一男 田原,譲 片山,新太 伊藤,秀章 有田,裕二 井上,泰志 小林,敬幸
発行元	環境科学会
巻/号	22巻4号
掲載ページ	p. 281-289
発行年月	2009年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## シンポジウム論文

環境・経済・社会・ヒューマンファクター  
 にかかわる評価指標に関する研究  
 —持続可能型エコトピア実現に資する指標—

林 希一郎\*・伊東 英幸\*・古賀 一男\*・田原 譲\*・片山 新太\*・  
 伊藤 秀章\*・有田 裕二\*\*・井上 泰志\*・小林 敬幸\*

## 摘 要

本研究では、環境・経済・社会・ヒューマンファクターの各種要素を包含する観点から科学技術や集団・社会の持続可能性を評価するエコトピア指標の基本的考え方の整理を行った。本稿では、エコトピアの類似概念である持続可能性やQOL（生活の質）の幅広い学問分野における定義を確認し、エコトピア指標の重要な要素である環境負荷とQoSL（Quality of Sustainable Life）の基本的考え方を明確化した。次いで、パーム油から製造するバイオディーゼルと軽油の環境負荷の事例研究として、エコロジカル・フットプリント、LCA-GHG、エコリユックサックを用いた総合評価を行い、多軸評価の重要性を示した。

キーワード：エコトピア指標、持続可能性指標、エコロジカル・フットプリント、LCA-GHG、エコリユックサック

## 1. はじめに

安全・安心で豊かな美しい社会を将来にわたって持続的に発展させていくための21世紀の目指す理想社会であるエコトピア（EcoTopia）の実現に向けて、エコトピア科学研究所では環境・経済・社会・ヒューマンファクターの各種観点を包含する「エコトピア指標」なる概念を提示し、研究を進めてきた<sup>1)</sup>。これまでの学問は、狭い専門領域において成果をあげてきたが、一方で実社会の中では環境負荷等の負の遺産を生み出してきた面も否めない。したがって、これらを回避し、エコトピア社会を実現していくためには、専門分野内での真理追究等のみならず、環境、経済、社会、ヒューマンファクター等の各種トレードオフを考慮する必要がある。本研究では、科学技術及び社会システムを対象に、エコトピア実現度を評価する指標の考え方を整理した。

本研究では、第1に、エコトピアの類似概念である持続可能な発展の定義、エコトピア指標の重要要素であるQoSL（Quality of Sustainable Life）の概念に関する既存研究をレビューした。第2に、エコ

トピア指標の類似指標の整理を通じて、エコトピア指標の基本的考え方を整理し、パーム油由来のBDF（Bio Diesel Fuel）の事例分析を交えてエコトピア指標の特徴を論じた。

## 2. QoSLとは

## 2.1 QoSLの定義

名古屋大学エコトピア科学研究所<sup>1)</sup>ではQoSLを、経済面・物質面の豊かさが確保され、また質の高い教育が提供されるとともに、心の豊かさや健康で質の高い長寿が実現され、さらに安全・安心な社会が形成されていることと表現している。これは一人当たり及び社会全体としてのQOL（Quality of Life）の両方の意味を含む概念であり、また時間的広がりを持って定義され、さらに自然が元来有する生物や資源の健全な循環の観点も考慮されなければならないとしている。すなわち、経済面、社会面、健康面、心理面を総合的に勘案した個人や社会の豊さに関するものであり、世代間の公平性に留意するものと言いつ換えることができる。これは、持続可能性の概念やQOLの概念に類似する。以降、持続可能性、QOL

2008年12月8日受付、2009年5月19日受理

\* 名古屋大学エコトピア科学研究所、〒464-8603 愛知県名古屋千種区不老町

\*\* 福井大学国際原子力工学研究所（元名古屋大学エコトピア科学研究所）、〒91-8507 福井県福井市文京3-9-1

18世紀	ドイツのRobert Lee 『持続可能な収量と社会的秩序』	・持続可能性の概念の誕生 ・資源の有限性の認識
	1902年 Fernow 『森林の経済学』	・自由競争原理下でのマネジメントの必要性の認識
19世紀	1972年 ローマクラブのレポート 『成長の限界』	・資源及び地球の有限性の認識
	1980年 国際自然保護連合(IUCN) 『世界保全戦略』	・『持続可能な発展』という言葉が使われ始める
	1981年 Lester Brown 『Building a Sustainable Society』	・開発と環境保全は二律背反的という解釈が一般的
	1984年 Norman Meyers 『Gaia: An Atlas of Planet Management』	・多面的側面も持続可能性の概念を含む
	1987年 ブルトラントレポート 『Our Common Future』	・南北問題(貧困問題)の考慮 ・世代内や世代間の公平性及び時間的考慮
	1989年 Pearce et al. 様々な持続可能性の概念を整理	・貧困者のニーズが厚生・福祉と解釈され最終的に効用として解釈
	1993年 Pearce et al. 『強い持続可能性』 『弱い持続可能性』	・ブルトランドによる持続可能性の定義が明確化した ・ニーズの解釈が多様化する問題点を提示

図1 持続可能性の概念の変遷

の概念と QoSL の考え方の共通点、相違点を論じた。

## 2.2 持続可能性の概念

高橋<sup>2)</sup>は、持続可能性概念の変遷を次のように整理した(図1)。18世紀後半から20世紀前半では、森林資源を枯渇性資源として認識されたことを契機とし、資源の有用性や持続性の概念の検討が開始された。1972年にはローマクラブの「成長の限界」が公表され、資源の有限性の考慮や経済成長重視型社会の限界について広く認識された。1980年には国際自然保護連合(IUCN, International Union for Conservation of Nature)の世界保全戦略の中ではじめて「持続的発展」という言葉が使用されたが、当時開発と環境保全が二律背反という解釈が一般的であったため、国際的なコンセンサスが得られなかった。

しかし、「1987年の環境と発展に関する世界委員会(WCED, World Commission on Environment and Development, 通称ブルトランド委員会)レポートで示された持続可能性の概念により、対象が森林等の自然資源から貧困者へのニーズへ拡大したこと、世代内・世代間の公平性へと時間概念を含んだこと、南北問題等も考慮したため、持続可能性の概念が世界的に認識された。

WCED レポートによる持続可能な発展の条件は、世代間の公平性の確保であるが、今日の国際社会等における持続可能な発展の概念は各種の条約や宣言等の中で多様に具体化されてきた。植田<sup>3)</sup>は、これらを概観し、持続可能な発展の概念には、(1)環境容量を考慮した持続可能な形態での自然や環境の利用、(2)世代間の公平性の確保、(3)南北間の

衡平と貧困の撲滅を含む社会的公平性の確保、の3つを含むものとした。この中で(1)では生態学的及び生物学的観点からの資源消費や資源回復に重点を置いた持続可能性が定義され<sup>4)</sup>、また、持続的収穫量<sup>5)</sup>、持続的生産量<sup>6)</sup>、生態系のキャリングキャパシティ<sup>7)</sup>等の研究が行われた。ハーマン・デリー<sup>8)</sup>の3原則では、上記(1)に関連して、再生可能資源の利用速度を再生速度以下に抑制することや、再生不可能資源の利用速度は再生可能資源の持続的利用で代用可能な速度以下に抑制すること、汚染物質は自然の浄化能力以下に抑制すること、をあげている。ナチュラルステップの4条件では、上記(1)及び(3)に関連した条件を持続可能な社会システムの原則として掲げた<sup>9)</sup>。Pearce et al<sup>10)</sup>は、持続可能性の目的を将来世代の厚生を損なわない経済進歩を目指すことであり、環境の質の維持を重視するものとした。この考え方は、環境経済学における持続可能性の議論の発展の基礎となった。植田<sup>3)</sup>では、環境保全や自然資本水準を一定に保つことを制約条件とし、福祉水準の世代間衡平を実現しつつ、経済的持続可能性や社会的持続可能性(文化的多様性、社会的正義、参加等を含む)を実現する発展の在り方と呼べるとした。この流れに呼応し、近年、持続可能性の概念に環境、経済、社会の3要素を含むものとする考え方があるが、これは1997年のサスティナビリティ社(英国)の決算書の最終行に社会面としての人権や社会貢献、環境面としての資源制約や汚染対策等を評価すべきと提唱したことにはじまる<sup>11)</sup>。

このように、持続可能性の概念は、環境的側面とともに、経済的及び社会的側面を含めた持続可能性の実現を示しており、世代間や社会的公平性を確保した発展の在り方を示している。

## 2.3 QOL の概念

QoSLの類似概念であるQOLの学問的背景に言及する。QOLとは、一般に「生活の質」と訳されることが多いが、普遍的定義は存在せず<sup>12)</sup>、多くの研究は健康面や心理面に着目し、例えばモラルや生活満足度、抑うつ傾向等の既存の尺度を用いたQOL指標化の研究、QOL独自の尺度の研究が主流である<sup>13)</sup>。土井<sup>12)</sup>によると、QOLは健康と直接関連するHRQL(Health-Related QOL)の研究と、健康に間接的に関連するNHRQL(Non-Health-Related QOL)に大別される。一方、英国では持続可能な発展を実現するための国家戦略として「よりよい生活-英国の持続的発展のための戦略(1999)」を策定し、その中でQuality of Life Counts(QOLC)を提唱した<sup>14)</sup>。これは経済、社会、環境の各分野か

ら15の主要指標及び147のコア指標を抽出し、雇用や教育、貧困、コミュニティ、健康、国際協力等非常に幅広い項目が含まれる。すなわち、QOLは、狭義には健康に係る専門用語として活用されるが、広義には持続可能な社会全体の在り方を示す用語として使われている。

## 2.4 QoSLの基本概念

前述したように、QoSLは、経済面、社会面、健康面、心理面を総合的に勘案した個人や社会の豊さの実現を目指すものであり、個人の生活・生命の質に係るファクター、社会の持続性に関わるファクター、持続可能性への貢献度（特に、環境配慮行動）を表すファクターに分けて考えることができる。

前者のファクターの一つの要素は、平均的個人の生活に対する満足度・幸福度を意味し、健康のみに着目した狭義のHRQLまたはNHRQLよりは広く、また広義のQOLよりは狭い、その中間的な内容を含む。フライ・スタッツァ<sup>15)</sup>は、心理学や社会学の知見を統合しつつ政治経済学的な観点から、個人の幸福感に影響を与える要素に関する既存研究をレビューし、経済的な豊さのみでは説明できない幸福感のあり方を明らかにした。今後このような、心理学、社会学を融合した経済学的研究が重要になると考えられる。また、社会に係る生活や生命の質に関しては、環境的側面を制約要因としつつ、世代間や社会的公平性を確保した上で発展する社会の評価項目であり、社会の持続可能性と深く関わっている。

一方、持続可能性への貢献度を表すファクターは、人々の環境配慮型行動の重要性を取り込んだものである。すなわち、QoSLの概念には、個人の幸福度の要素、社会の持続性及びそれをよりエコトピアに近づけるための環境配慮行動の3つの要素を含む。

このように、本指標の特徴は、特に健康面、心理的要素・環境配慮行動を評価プロセスの中に意欲的に取り込むことにより、新しい評価指標を目指す挑戦的な試みといえる。

## 2.5 環境配慮行動ファクター

環境配慮行動は人々や社会の持続可能性の実現へ寄与する行動の重要要因である。エコトピア指標は社会の意思決定やヒトの行動を環境配慮型に転換するツールとしての役割もあるため、個人の環境配慮行動の要因の観点から考察する。

篠木<sup>16)</sup>は環境配慮行動に与える要因を3種類に分類した。第1の要因は属性とよばれ、所得水準（個人所得、家計所得、国民所得）、年齢、学歴、性差行動、金銭関与行動と非金銭関与行動などである。Vogel<sup>17)</sup>によると、製品等のコストが低い状況では、

購買しようとする意欲と実際の購買行動は一致するが、高コストの場合には低い相関を示す。所得が支出に対して相対的に大きいほど行動に対する抵抗が小さい。Korfatis et al<sup>18)</sup>は、家計所得と環境配慮行動は負の相関があるとし、その理由として家計に占めるエネルギー価格の比率が行動の誘因に大きな影響を及ぼすことを示した。所得に関しては収入、支出共に大きいほど、環境配慮行動に配慮する可能性が大きいことを示しており、これは環境配慮行動の誘因（経済的なものを含む）を付与する仕組みづくりが重要であることを示唆している。非金銭的行動については、所得の程度が教育等への投資や社会階層の形成等に影響を与える（例えばArcury & Christianson<sup>19)</sup>やArcury, Scollay, & Johnson<sup>20)</sup>他）が、教育水準と環境配慮は正の相関を示さないという研究もある<sup>18, 21)</sup>。このことは所得が高いほど一般的教育の機会は増すが、環境教育の機会は一般教育には無関係であることを示しており、環境配慮行動を促す教育の整備の必要性を示唆しているとも言える。その他、年齢、学歴、住居形態、コホート等の要因と環境配慮行動との関係について、多くの研究が行われてきたが、単純化することは困難である。

第2の要因は外的要因である。環境配慮行動の実施前に与える勧告、警告、遵守、目標設定や、環境配慮行動の実施後に与える報酬、罰則、結果のフィードバック<sup>22)</sup>とともに、社会構造等に関係するものがそれに含まれる。

第3の要因は内的要因として分類され、知識<sup>23)</sup>、環境リスクの認知や規範意識（広瀬<sup>24)</sup>他）等の環境配慮を促進する要因と、主観的成本<sup>16)</sup>、実効可能性の評価<sup>24)</sup>等の阻害要因から構成される。例えば、内的要因の一つの要素と考えられる都会と田舎の居住環境の関係は、都市の方が田舎に居住するよりも環境問題に関心を示す結果が多く報告されている（例えばArcury & Christianson<sup>25)</sup>、Van Liere & Dunlap<sup>26)</sup>他）。環境配慮行動を説明する社会心理学的モデルは、例えば、2段階モデル<sup>24)</sup>等があり、それによると行動までの意思決定プロセスを環境にやさしい目標意図の形成と、環境配慮的行動の意図の形成の2段階で説明している。

総括すると、本ファクターを左右する重要要因は、環境配慮行動に関係する費用や便益（金銭の場合には収入や支出）、環境教育の充実度、また社会的環境教育のシステム化と環境教育内容の理解度、さらに所属社会集団の規範や期待（社会的目標、政策や制度を含む）との関係等である。その他、個人の環境配慮行動を左右する要因として、世帯構成、学歴、年齢等の要因も考慮しなければならないだろう。

### 3. 既存の指標の比較

持続可能性を評価する指標の研究がこれまでも多数実施されてきた。表1に主要な既存指標を整理した。ここで取り上げた10の既存指標は、必ずしも持続可能性の概念を包括的に取り扱っているものばかりではないが、本稿における新しい指標の検討に重要な示唆を与える指標である。

表2に、各指標の取り扱う項目を環境面、経済面、社会面、ヒューマンファクターに分類し比較した。これによると、環境からヒューマンファクター要素まで幅広く取り扱う指標はほとんどないことが分かる。また、各指標を詳細に見ると、指標の目的によって様々な特徴が見えてくる。

例えば、EF (Ecological Footprint) は、人間活動により消費される資源量を分析・評価する指標のひとつであり、大きな特徴として、経済活動による影響を生態学的観点から持続可能かどうかを評価する点である。前述植田<sup>3)</sup>の(1)の環境容量を考慮に入れた指標である。

LCA (Life Cycle Assessment) は、製品等の評価を中心に発展し、現在では社会システム全体への評価に発展している。最大の特徴は、原料採取から廃棄段階までのライフサイクル全体の環境負荷を定量的に評価する点である。特に炭素分のみを抽出したLCA (本稿では以下、LCA-GHGと呼ぶ)の政策利用が近年着目されている。上記の手法は、環境影響評価に不可欠な環境容量、ライフサイクル全体の環境影響を含むため極めて重要な評価手法である。

### 4. エコトピア指標の考え方の整理

#### 4.1 エコトピア指標の定義

エコトピア指標は、QoSLと、環境負荷の関数で定義される。QoSLは、前述したように個人や社会の生活の質を意味しており、一方、環境負荷は地球温暖化、オゾン層破壊、資源枯渇、廃棄物発生、森林減少、生物多様性減少、環境汚染など様々な環境項目で表され、人間全体がもたらす総環境負荷や一人当たりの環境負荷などについて地球の環境容量との相対評価や時間軸を考慮して定義される。

前述までの論点をまとめると、エコトピア指標の重要な観点として、(1)環境、経済、社会、ヒューマンファクターの各要素を評価し、これらのトレードオフを研究の対象に含めること、(2)ライフサイクル全体の影響を評価に取り入れること、(3)環境容量等のエコトピア実現に資する目標から評価を行うことである。

表1 持続可能性指標の整理

指標名 (開発年)	特徴
EF: エコロジカル・フットプリント (1991)	エコロジカル・フットプリントは、ある特定の地域または人々の経済活動を永続的に支えるために必要とされる生産可能な土地および水域面積の合計であるグローバルヘクター (gha) で表わされる。
HDI: 人間開発指標 (1990)	HDIは人間開発の三つの側面を表す「平均寿命指数」、「教育指数」及び「GDP指数」をまとめた合成指数によって人々の生活の質や発展度合いを示す指標である。
環境効率指標 (1989)	環境効率指標は環境変数と財務変数の割合で表され、経済価値を作る能力を反映しており、企業の資源消費に関する効率性を評価する。一般的に、事業パフォーマンス指標 (売上高等) に対する環境パフォーマンス指標 (環境負荷量) で示される。
ファクター X (1991)	「ファクター」は持続可能な社会のために、目指すべき豊かさや環境への影響のレベルを表す指標で、一般的には、「評価製品の環境効率」に対する「基準製品の環境効率」で表され、温暖化防止ファクターと資源ファクターで評価する。
GPI: 真の進歩指標 (1995)	GPI = GDP - 「市場を経由する社会的負要因」 + 「市場を経由しない社会的正要因」で表される。補正要因として「資源の消費」、「収入の不公平」、「耐久消費財コスト」、「通勤コスト」、「湿地帯の消失」、「余暇の減少」、「オゾン層破壊」などを負要因としてGDPから差し引き、「家事・育児」、「耐久消費財へのサービス」、「ネット資本投下」などを正要因として加算し、その総計をもってGPIとしている。
ESI: 環境持続可能性指数 (2005)	世界各国の環境の持続可能性を評価するために、環境システムの機能や因果関係、政治的権限などを考慮し、湿地保護や土壌の質、水害マネジメント、毒物、生態系などのデータを基に21の指標を整理し、①環境システム、②環境負荷の低減、③人の感受性を軽減、④社会的・制度的能力、⑤地球の管理などの5つの要素に集約して総合的に評価する。
グリーン GDP (1993)	GDPから環境汚染、公害による経済的損失や自然資源の減耗分を控除した「環境調整国内純生産」(EDP, Eco Domestic Product)をいう。その基本的な概念は「自然界の様々な要素を、何らかの基準で数値化し、価値ある資源として計上する」というものである。
HSM: 人間満足度尺度 (2000)	人間の満足や社会の持続可能性を折り込んだ社会厚生指標で、「社会」分野では失業率、乳児死亡率、初等教育の就学率、女性の4年制大学進学率を使用し、「環境」分野では、ver1で上水道の普及率、ver2-1で二酸化炭素排出量、ver2-2でエコロジカル・フットプリントを用いている。「経済」分野では、ジニ係数を使用している。
ER: エコロジカル・リユース・サック (1994)	あるモノやサービスをつくるにあたって、そのライフサイクルを通じて必要とされる資源とエネルギーの総量を重さで示す指標。あるモノをつくるために移動され、取り出された自然の総計(サービス可能な製品になるまでの総MI(物質集約度)から、その製品の正味重量を差し引いて、1kg当たりに換算した物質投入量を表している。
LCA: ライフサイクルアセスメント (1997規格化)	製品(またはシステム)がその目的とする機能を遂行するため、その「製造・使用・廃棄等」すべてのライフサイクルにおいて排出するすべての環境負荷と資源消費、並びに「それに伴う環境影響」を定量的に評価し、研究目的に沿ってその結果を解釈する技術。

### 4.2 エコトピア指標の評価対象

エコトピア指標は、科学技術の評価と、社会・集団のエコトピア度の評価の二つの役割を有する。科学技術の評価は、科学技術が開発された後にもたらず環境、経済、社会、ヒューマンファクターへのインパクトやトレードオフを総合評価することである。各種の環境や、経済、社会等へのインパクトを総合的に検討することで、科学技術の発展段階における課題の抽出や、科学技術開発における軌道修正が可能となり、社会的受容性の高い研究開発が可能となる。

社会・集団におけるエコトピア達成度評価は、過去から現在までの評価に必要となる要素の抽出や時間軸を考慮した動向分析などを実施することにより、特定の社会や集団の現状のエコトピア度の評価とともに、エコトピア実現のための方向性的評価が可能となる。

### 4.3 評価項目

環境負荷は、LCAのLIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)<sup>27)</sup>

のプロセスの様に、個々の環境負荷データを環境影響が及ぶ環境影響領域まで特性化を行う。特性化とは、地球温暖化やオゾン層の破壊などの環境影響領域ごとに算出するもので、基準物質(例えば、地球温暖化の場合は二酸化炭素を基準とする)が及ぼす影響量を1とした場合の相対値を基に対象物質が与える影響を算定するものである。その後、地球温暖化、土地・生態系、資源消費、人間健康リスク、その他環境影響の5つの軸に集約化する。例えば、地球温暖化は、温室効果ガスをGWP(地球温暖化指数)により二酸化炭素に換算し、地球温暖化への影響を評価する。さらに、土地・生態系は、生物生息域の機能の評価を加えた土地分類をEFの概念に取り込んだ評価手法が考えられる。なお、次項の事例研究では、地球温暖化はLCA-GHG、土地・生態系はEF、資源消費はER (Ecological Rucksack)等の代表的環境指標を各軸の評価に用いた環境負荷の総合評価を便宜的に試みた。

一方QoSLは、平均的個人の生活に対する満足度や幸福度(経済面(所得、雇用、インフレ等)、社会要因、健康、心理的要因を取り入れた項目を含

表2 既存指標の比較

	GDP	グリーンGDP	HDI	HSM	GPI	LIME	EF
環境	生物多様性・生態系	×	△	×	×	○	○
	地球温暖化	×	△	×	○ (Ver.2)	○	○
	環境容量	×	×	×	○ (Ver.3)	△	○
	その他	×	大気汚染、水質汚濁、資源枯渇等	×	上水道普及率 (Ver.1)	資源消費、環境劣化、湿地帯の損失、オゾン層の破壊等	大気汚染、酸性化、富栄養化、資源消費、光化学オキシダント等
経済	所得	○	○	×	○ (ジニ係数)	×	○
	財・サービス	○	○	×	×	×	○
	外部費用	×	○	×	×	×	△
	その他	消費、投資等	自然資産の減耗額等	1人当たりGDP	×	犯罪防止コスト、家庭崩壊に伴うコスト等	×
社会	労働	×	×	×	○	×	○
	健康(寿命)	×	×	○	△ (乳児死亡率)	×	△
	教育	×	×	○	○	×	△
	その他	×	×	×	女性の四年制大学への進学率	収入の不公平、余暇の減少等	×
ヒューマンファクター	満足度	×	×	×	×	×	×
	環境意識	×	×	×	×	×	×
	ライフスタイル	×	×	×	×	△	△
	その他	×	×	×	×	×	×

む), また社会の持続性(経済的持続可能性, 社会的持続可能性の概念を含む), さらに環境配慮行動ファクターである環境教育の充実度, 社会的環境教育のシステム化, 環境教育内容の理解度, 所属社会集団の規範や期待(社会的な目標, 政策や制度)を含むことが考えられる。また, 環境配慮行動を左右する要因である費用や便益, 世帯構成, 学歴, 年齢等については, 環境配慮行動のパラメータ分析の中で取り扱うものとする。これらヒューマンファクターに関する項目に関しては, 既存の指標で考慮しているものはほとんど無く, 人々の満足度や幸福度および社会全体としてのエコトピアの達成度評価を実施し, これらの結果をフィードバックすることで, 持続可能なエコトピアの形成に向けた具体的な取り組みを実施していくことが可能となり, これらについては今後更に検討していく必要がある。

#### 4.4 環境負荷の評価手法: 多軸評価の事例

##### (1) 事例の前提

エコトピア指標による評価によって, 様々な環境間のトレードオフの総合評価が可能となる。前述したとおり, エコトピア指標は QoSL と環境負荷の関数で定義されるが, それぞれの相互関係間のトレードオフと, 各要素間における相互の影響についてのトレードオフが発生している可能性がある。したがって, 環境負荷の評価の場合, ベースとなる評価項目と各種環境影響との関係性を明確にし, 多角的な観点から指標相互間の影響について検討することが重要である。本研究では, パーム油由来 BDF と軽油の環境負荷の比較を行った。通常は, EF または LCA-GHG または ER 等を単独で用いて結論を求めることが多いが, エコトピア指標では環境間のトレードオフを評価することを重要要素と位置付けているため, 地球温暖化への影響評価に LCA-GHG, 土地・生態系の環境容量の評価に EF, 資源消費の評価に ER を用い, 3 軸で比較評価することとした。

環境負荷データは林<sup>28)</sup>から一部引用し, BDF と軽油について比較した<sup>脚注 1)</sup>。各指標の算定にあたり, BDF に関してはインドネシアの油ヤシプランテーションから油ヤシ果実をトラックで輸送し, CPO (Crude Palm Oil, 粗パーム油)・BDF 工場に BDF にして日本へタンカーで輸送した後, 中型トラックにより使用されることを想定した。一方, 軽油はインドネシアで原油を採掘した後, 軽油に精製し, 日本へタンカーで輸送した後, BDF と同様に中型トラックに使用されることを想定した。また, 両者を比較するため, 軽油 1t あたりのエネルギー量と同等の BDF のエネルギー量を計算し, 比重等を勘案

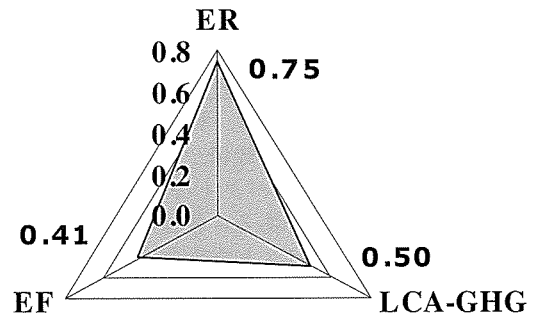


図 2 3 軸評価の結果

して機能単位を揃えた。その結果, 機能単位あたりの重量は軽油 1t に対し, BDF は 1.055t に相当するとした。

##### (2) ER による評価

ER は, モノやサービスの製造のライフサイクルを通じて必要とされる資源とエネルギーの総量を重さで示す指標である。ER は, 各ライフサイクルで投入される物質と廃棄される物質のデータを基に Wuppertal 研究所<sup>29)</sup>で公表されている物質集約度 (Material Intensity) を用いて推定した。物質集約度のデータが無い物質に関しては, 物質の重量を直接合計し, それぞれの機能単位あたりの重量を差し引いて ER 値を推計した。

##### (3) LCA-GHG による評価

LCA-GHG は, 原料の採掘から廃棄に至るまで(今回は使用段階まで)のライフサイクルを考慮して, それぞれの段階で排出された温室効果ガスの総量を二酸化炭素に換算して表したものである。電力やディーゼルの使用に伴う温室効果ガスの排出係数は, 電気事業連合会<sup>30)</sup>から引用した。また, 軽油は(財)石油産業活性化センター<sup>31)</sup>のデータを用い, 原油の採掘から軽油製造, 使用までに至る温室効果ガスの排出量を算定した。

##### (4) EF による評価

EF は, 一般的に製品の製造(および廃棄)に必要な一次生産物の面積を gha (global hectare) で表される。BDF の場合, パーム油の抽出工程で排出されるセルロース繊維質廃棄物である空果房 (EFB) は 0.264ha のプランテーションから排出されるため, この面積に精製や輸送にかかわるエネルギー量を資源エネルギー庁<sup>32)</sup>を基に二酸化炭素の吸収地面積に換算したものを加算し EF とした。一方, 軽油に関しては, 伊<sup>33)</sup>を基に採掘, 精製, 使用の各段階でのエネルギー量を算定し, 二酸化炭素の総排出量を推定して EF を算定した。換算に用い

た係数は、Wackernagel<sup>33)</sup>の1.8t-C/ghaを用いた。

#### (5) BDFと軽油の総合評価

3軸での評価結果を図2に示す。軽油を基準(=1)とした場合のBDFの総合評価であり、環境負荷量を軽油の値の比でとっているため、数値が低いほど軽油より優れていることを示す。

その結果、EFは0.41、LCA-GHGは0.5、ERは0.75となり、すべての評価項目においてBDFは軽油より環境負荷が小さい結果となった。これは、BDFはカーボンニュートラルにより使用段階での二酸化炭素排出量が無いためと考えられる。

本分析により、異なる観点からの環境評価の結果の違いについて示唆し、エコトピア指標における多軸評価の重要性が認識された。

### 5. 結 論

本研究では、新しい指標であるエコトピア指標の基本概念を既存研究のレビューを通じて論じるとともに、パーム油BDFと軽油の比較による事例研究を通じて、多軸評価の重要性を示した。

QoSLの評価には従来の持続可能な社会の実現に係る学問研究に加えて、健康科学、心理学と経済学の知見の融合が重要であり、また環境配慮行動とその心理学的要因の分析を含む立場で研究に臨む点が本指標の新しい試みである。さらに、QoSLの具体的な項目の設定に当たっては、その背景要因の分析とその因果関係を明確にしつつ、研究を進めていく必要があることから、多分野の研究者の協業が不可欠である。さらに、本稿の事例分析を通じて、多軸評価による環境間のトレードオフ評価の重要性が指摘された。

本研究では人間健康へのリスク、その他環境影響の評価、生物生息域の観点からの評価、希少資源の評価等における環境面の評価において多くの検討課題が残されている。加えて、QoSLと環境負荷のトレードオフ等の研究に発展させていく必要性が課題として指摘できる。

### 謝 辞

本研究の推進にあたり、名古屋大学大学院の広瀬幸雄教授、同大学院生の尾花恭介氏には文献整理でお世話になった。また、エコトピア科学研究所の北川邦行教授、長谷川豊教授、松本光太郎元特任講師、唐沢かおり客員准教授にはQoSLの議論においてお世話になった。さらに、名古屋大学大学院の藤川清史教授、早稲田大学の中村愼一郎教授、武蔵工業大学の伊坪徳宏准教授、滋賀大学の中野桂准教授には多くのご指導を頂いた。ここに感謝の意を表す。

### 脚 注

熱帯林等からプランテーションの土地利用の改変に伴う環境影響は、今回は考慮しておらず、プランテーションで使用される農業用機械のディーゼルの使用による影響について考慮した。各燃料の使用段階については、中型トラック(4t)での使用を想定し、燃費を5.18km/L(社)神奈川県トラック協会<sup>35)</sup>、BDFの汚染物質量はTom Beer et al<sup>36)</sup>の推定値を用い、軽油についてはプラスチック処理促進協会<sup>37)</sup>の値を基に算出した。

### 文 献

- 1) 名古屋大学エコトピア科学研究所(2007)エコトピア2020の実現に向けて－エコトピア科学研究所の研究目標および基本戦略－(骨子), 33 pp.(一部の引用)
- 2) 高橋義文(2005)発展途上地域における農業活動の持続性評価に関する研究: ecological footprintとenergy flow modelによる分析. 北海道大学大学院農学研究科邦文紀要, 27(1), 115-197.
- 3) 植田和弘(2006)持続可能な発展(sustainable development)論 in 環境経済・政策学会編『環境経済・政策学の基礎知識』. 有斐閣, 446 pp.(一部の引用)
- 4) Holling, C.S(1973) Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4, 1-23.
- 5) GETZ, W. M(1980) The ultimate-sustainable-yield problem in nonlinear age-structured populations, Math.Biosci, 48, 279-292.
- 6) NEHER, D(1992) Ecological Sustainability in Agricultural systems: Definition and measurement Integrating Sustainable Agric., Ecology, and Envi. Policy (Food Product Press). (一部の引用)
- 7) Catton, William R., Jr.(1980) Overshoot: The Ecological Basis of Revolutionary Change. Urbana, University of Illinois Press. (一部の引用)
- 8) Daly, Harman(1996) Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development. Beacon Press. (一部の引用)
- 9) 高見幸子(2003)日本再生のルール・ブック: ナチュラル・ステップと持続可能な社会, 海象社, 108 pp. (一部の引用)
- 10) Pearce et al(1989): Blueprint for a Green Economy, Earthscan. (一部の引用)
- 11) John Elkington(1998) Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business, Gabriola Island, BC: New Society Publishers. (一部の引用)
- 12) 土井由利子(2004)総論－QOLの概念とQOL研



- 究の重要性. 健康医療科学, **53**, 176-180.
- 13) 古谷野直 (2004) 社会老年学における QOL 研究の現状と課題. 健康医療科学, **53**, 204-208.
  - 14) UK Government (1999) A better quality of life -strategy for sustainable development for the United Kingdom, ISBN 0 10 14352.
  - 15) ブルーノ, S. フライ, アロイス. スタッツァー (2005) 幸福の政治経済学. ダイヤモンド社. 294 pp.
  - 16) 篠木幹子 (2007) 環境問題へのアプローチ—ごみ問題における態度と行動の矛盾に関する正当化メカニズム—. 多賀出版, 196 pp.
  - 17) Vogel, S (1996) Farmers' environmental attitudes and behavior : a case study for Austria. *Environment and Behavior*, **28**, 591-613.
  - 18) Korfiatis, K.J., Hovardas, T. & Pantis, J. D (2004) Determinants of environmental behavior in societies in transition: evidence from five European countries. *Population and environment*, **25**, 563-584.
  - 19) Arcury, T.A. & Christianson, E.H (1990) Environmental worldview in response to environmental problems Kentucky 1984 and 1988 compared. *Environment and Behavior*, **22**, 387-407.
  - 20) Arcury, T.A., Scollay, S.J., & Johnson, T. P (1987) Sex differences in environmental concern and knowledge : the case of acid rain. *Sex Roles*, **16**, 463-472.
  - 21) 小塩隆士 (2002) 教育の経済分析, 日本評論社.
  - 22) Porter, E.B., Frank, C.L., & William, O. D (1995) Solid waste recovery : A review of behavioral programs to increase recycling. *Environment and Behavior*, **27**, 122-152.
  - 23) Schahn, J. & Holzer, E. (1990) Studies of individual environmental concern : The role of knowledge, gender, and background variables. *Environment and Behavior*, **22**, 767-786.
  - 24) 広瀬幸雄 (1994) 環境配慮的行動の規定因について社会心理学研究. **10**, 44-55.
  - 25) Arcury, T.A. & Christianson, E.H (1993) Rural-Urban differences in environmental knowledge and actions. *Journal of Environmental Education*, **25**, 19-25.
  - 26) Van Liere, K.D. & Dunlap, R.E (1981) Environmental concern : does it make a difference how it's measured? *Environment and Behavior*, **13**, 651-676.
  - 27) 伊坪徳宏, 稲葉敦編著 (2005) ライフサイクル環境影響評価手法 : LIME-LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース. 産業環境管理協会, 410 pp. (一部の引用)
  - 28) 林希一郎 (2008) インドネシアのパーム油製造プロセスにおけるバイオ廃棄物利用に係る環境影響評価. 環境情報科学論文集, **22**, 257-262.
  - 29) Wuppertal Institute (2003) Material intensity of materials, fuels, transport services, Version 2, 9 pp. (一部の引用)
  - 30) 電気事業連合会 (2006) 電力事業における環境行動計画. 32 pp. (一部の引用)
  - 31) 石油産業活性化センター (2000) 石油製品油種別 LCI 作成と石油製品環境影響評価調査報告書 (平成 11 年度石油精製合理化基盤調査事業). PEC-1999R-13, 47 pp. (一部の引用)
  - 32) 資源エネルギー庁総合政策課 (2002) エネルギー源別標準発熱量表の改訂について. 4 pp.
  - 33) 尹 性二・山田竜也 (1999) わが国における化石エネルギーに関するライフサイクル・インベントリー分析. (財) 日本エネルギー経済研究所 / エネルギー経済定例研究報告会 第 353 回定例研究報告会. 28 pp. (一部の引用)
  - 34) Wackernagel, M. and Rees, W.E (1995) Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island (Canada), 216 pp. (一部の引用)
  - 35) 神奈川県トラック協会 (2007) 平成 19 年度運送事業における低公害車導入・平成 19 年度 エコドライブ等実施状況調査結果概要. 3 pp. (一部の引用)
  - 36) Tom Beer, Tim Grant and Peter K Campbell (2007) The greenhouse and air quality emissions of biodiesel blends in Australia. Report Number KS54C/1/F.2.7. 126 pp. (一部の引用)
  - 37) プラスチック処理促進協会 (1993) プラスチック製品の使用量増加が地球環境に及ぼす影響評価報告書. (一部の引用)

**Study on Assessment Indicator for Environment,  
Economic, Society and Human Factors  
–Indicator for Accomplishing Sustainable EcoTopia–**

Kiichiro HAYASHI \*, Hideyuki ITO \*, Kazuo KOGA \*, Yuzuru TAWARA \*, Arata KATAYAMA \*,  
Hideaki ITOH \*, Yuji ARITA \*, Yasushi INOUE \* and Noriyuki KOBAYASHI \*

(\* EcoTopia Science Institute, Nagoya University  
Furocho, Chikusa-ku, Nagoya-city, Aichi, 464-8603, Japan)

**Abstract**

In this study, the basic concept of “Indicators for EcoTopia Society (IES)” was discussed from the perspective of environmental, economic, social and human aspects by effectively utilized literature review. First, several current sustainability related indexes were collected from many documents and compared, and then the new concept of QoS (Quality of Sustainable Life) in the IES was presented and compared with the current definition of ‘Sustainability’ and ‘QOL (Quality of Life)’ that were similar concept of QoS by literature review from environmental policy and economics, social psychology and other related fields. Also the possibility of inclusion of environmental, economic, social and human factors to the IES was discussed. Moreover, the importance of multiple assessments was pointed out through the evaluation results of Ecological Footprint, LCA-GHG and Ecological Rucksack in the case study of Bio-Diesel Fuel made from palm oil and diesel.

**Key Words:** Indicators for EcoTopia Society, Sustainability Indicator, Ecological Footprint, LCA-GHG, Ecological Rucksack