

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年8月27日現在

機関番号：33935

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：平成23年度～平成24年度

課題番号：23651025

研究課題名（和文）生態系サービスの視点によるエコロジカルフットプリント  
算出システムの構築研究課題名（英文）Construction of the ecological footprint calculation system  
from the viewpoint of the ecosystem service

研究代表者

加藤 悟 (KATO SATORU)

名古屋産業大学・環境情報ビジネス学部・准教授

研究者番号：40323539

研究成果の概要（和文）：

エコロジカルフットプリント指標（以下、「EF 指標」と記す）は、人間活動に伴う生態系サービス（以下、「ESS」と記す）の消費を土地資源の消費面積に換算する指標である。

現在の EF 指標は、食料生産としての耕作地、牧畜用としての牧草地、木材・紙使用としての森林地、そして二酸化炭素吸収源としての森林、住宅や都市インフラによる生産能力阻害地としての面積を足しあわせることで求められている。企業活動、人間活動による ESS 消費量を EF 指標として再定義を行った。

ESS の定義と具体例をリストアップし、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスについて原単位を先行研究や大胆な仮定により算出するシステムを既存文献などから調査し、EF 指標算出システムとして構築した。

研究成果の概要（英文）：

The ecological footprint(EF) index is an index to exchanging the consumption of the ecosystem service(ESS) with human activities to the consumption area of land resources. The activity of the company which is main human activities are converted into an EF index utilizing index group indicating the activity of the company. The action to an instruction of the company activity for the natural symbiosis society realization and the offset activity (biological diversity offset) contribute to the ecosystem maintenance of the earth.

The current EF index is calculated as summation of the cultivated land area as the food production, the meadows area as the live stock farming use, the forest area as a timber and paper use, the forest area as the carbon sink, and the inhibition area as house construction and the city infrastructure(road and train etc). These index were linked with ESS and EF that company activity and human activities used. In this study, the ESS consumption of the company activities and human activities were redefined for an EF index.

A definition and specific examples of ESS were listed and quantified company activity and human activities. For example, about farmland which is need to bring up the crops for food, the consumption of the food item was calculated per person by household economy survey statistics and multiplied a basic unit of the land productivity by the consumption. and was calculated. The ecosystem service such as the supply service, the adjustment service, the cultural service and the base service, was investigated by statistics or existing documents, then the EF index calculation system was constructed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,600,000円	780,000円	3,380,000円

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境影響評価・環境政策

キーワード：生態系影響評価、エコロジカルフットプリント、エコシステムサービス

### 1. 研究開始当初の背景

環境省は持続可能社会の構築を目標としているが、環境白書 2010 によるとその構成要素は「低炭素社会」「循環型社会」「自然共生社会」の3つである。低炭素社会の指標として二酸化炭素排出量や LCCO<sub>2</sub>、循環型社会の指標としてリサイクル率や最終処分率などの指標が提案され、企業はこれらの指標についてモニタリングを行い、環境報告書や CSR 報告書等で報告を行っている。

しかし、自然共生社会については、具体的な指標が提示されておらず、企業もどのように取り組んで良いのか手探り状態である。

「CSR レポートを対象とした生物多様性対応活動の産業別指向性分析 (加藤(2010))」によると、農林水産業では本業に関連した生物多様性対応活動を行っているが、食品製造業ではほとんどの企業がイメージアップ活動や CSR 活動の一環としてしか活動に取り組んでいないという現状が明らかになっている。

エコロジカルフットプリント(EF)指標は、人間活動に伴う食料消費や CO<sub>2</sub> 排出、都市活動に必要な土地利用等々様々な環境負荷を土地資源の消費面積に換算することで同一基準によって複合的に評価できる指標である。

実際、国土交通省の「国土モニタリング」に関するホームページ上で EF 指標が紹介されている。また、岡山県では自治体レベルの環境基本計画に EF 概念を紹介したり、津山市では都市計画マスタープランにおいて EF 指標を環境指標として導入した例もある。

UNEP においては、開発途上国において貧困撲滅や環境問題の解決が主要な課題となっていることを踏まえ、エコロジカルフットプリントと GDP (国内総生産) や HDI (国連人間開発指標) との相関を分析しており、経済成長が著しい新興国が環境負荷が増大する可能性が高いことや、環境負荷と生活の質が比例関係にあることなど示されている。

### 2. 研究の目的

EF 指標は、人間活動に伴う ESS の消費を土地資源の消費面積に換算する指標で、人間活動の主なもの、企業活動によって発生するものである。企業の活動を、企業の活動を

示す指標群を活用して EF 指標に変換することができたら、自然共生社会実現に向けた企業活動の誘導や、相殺活動 (生物多様性オフセット) に取り組むことができ、地球全体の生態系保全に寄与することができる。本研究では、企業活動指標を EF 指標に変換するシステムを構築することを目的とする。

現在の EF 指標は、食料生産としての耕作地、牧畜用としての牧草地、木材・紙使用としての森林地、そして二酸化炭素吸収源としての森林、住宅や都市インフラによる生産能力阻害地としての面積を足しあわせることで求められている。

しかし、ESS の観点から見ると、供給サービス、調整サービス、基盤サービス、文化サービスなどがあり、もう少し丁寧に EF 指標を構築することが必要である。また、企業活動や人間活動とリンクした指標にしなければ、どのように対応すればよいかかわからず、有効な指標として活用できない。

本研究では、企業活動、人間活動による ESS 消費量を EF として再定義することを目的とする。そのために、ESS の種類と人間活動の関連づけを行い、次に極力定量化し、人間活動による EF 指標計算システムを構築する。

### 3. 研究の方法

まず ESS の定義と具体例をリストアップする。その具体例について企業活動や人間活動として定量的に把握できる値を用いる。すべてを網羅的にリストアップしたら、それぞれについて EF 指標に変換していく。例えば、食料のための作物を育てるために必要な農地であれば、一人あたり食料品目  $i$  の消費量を家計調査統計から求め、品目  $i$  における土地生産性の原単位をかけて足しあわせる。ただし、すべての土地生産性の原単位はないので、食料品目はある程度のクラスタリングをかける。調整サービス、文化的サービス、基盤サービスについて原単位を先行研究や大胆な仮定により算出するシステムを構築する。

### 4. 研究成果

#### (1) はじめに

本研究における生態系サービス依存度評

価のフレームワークを図 1 に示した。対象地域内の年齢階層別人口、世帯数、世帯人員、住宅延床面積、住宅建て方（一戸建て、長屋、集合住宅）、住宅構造（木造、RC 造、SRC 造、木質系プレハブ、軽量鉄骨系プレハブ）を入力として、CO<sub>2</sub> 排出量、食糧消費量、建設・家具用木材消費量という生態系サービスの利用フロー量を推計し、それらを単位生態系面積あたりの CO<sub>2</sub> 吸収量、食糧生産量、木材供給量などの原単位で除することでサービス別 EF を算出した。さらに EF を地域内の生態系土地面積と比較することで、地域内外への依存のバランスの評価を行った。

## (2)CO<sub>2</sub> 吸収に必要な森林面積

エネルギー消費量を基に、CO<sub>2</sub> 吸収に必要な森林面積 EF<sub>CO<sub>2</sub></sub>(ha)を求めた。

$$E_k = \sum_i \sum_j (N_{ij} \times e_{ijk}) \quad (1)$$

$$C = \sum_k (E_k \times c_k) \quad (2)$$

$$EF_{CO_2} = C/Y_c \quad (3)$$

ここで、E<sub>k</sub>はエネルギー種 k の消費量 (MJ/yr)、N<sub>ij</sub> は建て方 i 世帯人員 j 別の世帯数 (世帯)、e<sub>ijk</sub> は建て方 i 世帯人員 j 別のエネルギー種 k の世帯あたり消費量原単位 (MJ/世帯/yr)、C は CO<sub>2</sub> 排出量 (tCO<sub>2</sub>/yr)、c<sub>k</sub> はエネルギー種 k の CO<sub>2</sub> 排出量原単位 (tCO<sub>2</sub>/MJ)、Y<sub>c</sub> は森林単位面積あたり CO<sub>2</sub> 吸収量 (tCO<sub>2</sub>/ha/yr)である。e<sub>ijk</sub> には、経済産業省の関西地区の原単位を用いた。電力の c<sub>k</sub> には関西電力の 2008 年の排出量原単位を用い、電力以外の c<sub>k</sub> には 2010 年の環境省と経済産業省の値を用いた。Y<sub>c</sub> には日本の森林の単位面積あたりの年間炭素固定量を用いた。また通常は約 30%が海洋へ吸収されると考えられるが、今回の推計ではすべての CO<sub>2</sub> は先述のように海洋の面積を考慮しないため、全量が森林によって吸収される仮定とした。

## (3)食糧供給に必要な耕作地・牧草地面積

食糧消費量を基に、食糧供給に必要な農耕地面積 EF<sub>food-c</sub> (ha)および牧草地面積 EF<sub>food-g</sub> (ha)を求めた。

$$F_m = \sum_l (f_{ml} \times p_l) \quad (4)$$

$$EF_{food-c} = \sum_m (F_m/Y_m) \quad (5)$$

$$EF_{food-g} = \sum_m (F_m/Y_{gm}) \quad (6)$$

ここで、p<sub>l</sub> は年齢階層 l の人口(人)、f<sub>ml</sub> は年齢階層 l における品目 m の一人あたり消費量

(t/人/yr)、F<sub>m</sub>は品目 m の総消費量 (t/yr)、Y<sub>m</sub> は品目 m の耕作地単位面積あたり生産量 (t/ha/yr)、Y<sub>gm</sub>は品目 m (牛肉と牛乳のみ)の牧草地単位面積あたり生産量 (t/ha/yr)である。f<sub>ml</sub>には、厚生労働省国民栄養調査のうち、米類、麦類、芋類、豆類、緑黄色野菜、その他野菜、果実類、種実類、肉類、卵類、乳類、砂糖甘味料、油脂類の 13 品目の全国平均の消費量を用いた。

農作物の Y<sub>m</sub> は、総務省統計局の日本の各農作物の生産量を作付面積で除して算出した。品目分類の単位土地面積あたりの生産量については、分類に含まれる農作物の平均とした。

畜産物の Y<sub>m</sub> は、肉類については農林水産省の牛肉、豚肉、鶏肉畜産物 1 kgを生産するのに必要な穀物等のとうもろこし換算量から、乳類については、農業経営統計を用いて、牛乳を生産するために必要な飼料費を飼料価格で除することで飼料量を推計し、総務省統計局の飼料作物青刈りとうもろこしの統計値からそれぞれ作付面積に換算した。また牧草地 Y<sub>gm</sub>については、畜産物流通統計調より推計した 1 頭あたりの枝肉生産量と、農林水産省「乳製品をめぐる情勢」から推計した全国平均の 1 頭あたり乳量を用いて、製品 1 t あたりに必要な牛の頭数を推計し、農林水産省の「飼料をめぐる情勢」の大家畜 1 頭あたりの作付面積 (全国平均) により牧草地の面積を推計した。なお Y<sub>m</sub>、Y<sub>gm</sub>、ともに、「平成 21 年次食肉の消費構成割合」の家計消費による牛肉、豚肉、鶏肉の消費量の割合によって加重平均し、肉類を 1 t 生産するために必要な耕作地・牧草地面積として飼料生産に必要な耕作地の面積を算出した。

油脂類に関しては、農林水産省の大豆油・なたね油を 1 kg の生産に必要な穀物の量をそれぞれの原料、大豆・なたねの単位面積あたりの生産量で除することで、製品 1 t あたりを生産するために必要な耕作地面積を推計し、大豆となたね油の平均を用いた。

砂糖甘味料に関しては、全て砂糖であると仮定して推計を行った。砂糖はさとうきびとてんさいから生産されている。そこで、さとうきびとてんさいそれぞれについて、砂糖の生産量を原料の生産量で除することで砂糖の生産効率を推計した。それに、単位面積あたりの原料生産量を乗じることで、単位面積あたりの砂糖の生産量を算出した。砂糖の推計には、農畜産業振興機構の砂糖需給関係資料のさとうきび・てんさいの生産量、産糖量を算出し、さとうきび糖とてんさい糖の平均値を用いた。

## (4)建設用木材供給に必要な森林面積

住宅の木材使用量を基に、建設用木材供給に必要な森林面積 EF<sub>wood-h</sub> (ha)を求めた。

$$W_h = \sum_n \sum_i (w_n \times A_{ni} / L_{ni}) \quad (7)$$

$$EF_{wood-h} = W_h / (a \times Y_w) \quad (8)$$

ここで、 $w_n$ は構造  $n$  の住宅床面積あたり木材固定量 ( $t/m^2$ )、 $A_{ni}$ は構造  $n$  建て方  $i$  の住宅延床面積 ( $m^2$ )、 $L_{ni}$ は構造  $n$  建て方  $i$  の住宅建物寿命 (yr)、 $W_h$ は建設用木材消費量 ( $t/yr$ )、 $a$ は丸太から建材の生産効率、 $Y_w$ は森林単位面積あたり木材収穫量 ( $t/ha/yr$ )である。 $w_n$ には谷川と井村の数値を用いた。 $L_{ni}$ には、及川と占部が東京において推計した構造・建て方別建物寿命を用いた。 $a$ は、木材需給表のスキの丸太から建材への生産効率を用い、 $Y_w$ は、林野庁による丸太生産量を林業経営体保有森林面積で除して求めた。

(5)家具用木材供給に必要な森林面積

家具購入量を基に、家具用木材供給に必要な森林面積  $EF_{wood-f}$  (ha)を求めた。

$$W_f = \sum_j \sum_p (w_p \times R_{pj} \times b \times N_j) \quad (9)$$

$$EF_{wood-f} = W_f / (a \times Y_w) \quad (10)$$

ここで、 $w_p$ は家具  $p$  の1台あたり木材使用量 ( $t/台$ )、 $R_{pj}$ は世帯人員  $j$  別の世帯あたり家具  $p$  購入数 (台/世帯/yr)、 $b$ は木材家具率、 $N_j$ は世帯人員  $j$  別の世帯数 (世帯)、 $W_f$ は家具木材消費量 ( $t/yr$ )である。 $a$ と $Y_w$ は、式(8)と同じである。 $w_p$ については、日本木材総合情報センターの調査結果を用いた。 $R_{pj}$ は総務省統計局家計調査を基に推計したが、家計調査の世帯区分が単身世帯と二人以上世帯の2区分であったため、 $N_j$ の区分も同様とした。また  $b$ は経済産業省の繊維・生活用品統計から、たんす類、食器棚・棚類、ベッド、テーブル類、机、椅子 (応接用)、椅子 (食卓用) などについての木製家具と金属製品の個数の比を算出した。

(6)大阪府のエコロジカルフットプリント

大阪府の市町村別 EF 合計の計算結果を、図2に示す。EF 合計は人口の多い大阪市が1,254,206 ha と他の市町村と比べ非常に大きく、次いで堺市が406,461 ha、東大阪市が254,809 ha となり、ほぼ人口と比例している ( $R^2=0.99$ )。また EF のサービス種構成を見ると、市町村によって多少の差があるものの全ての市町村で  $EF_{CO_2}$  が全 EF の60%程度を

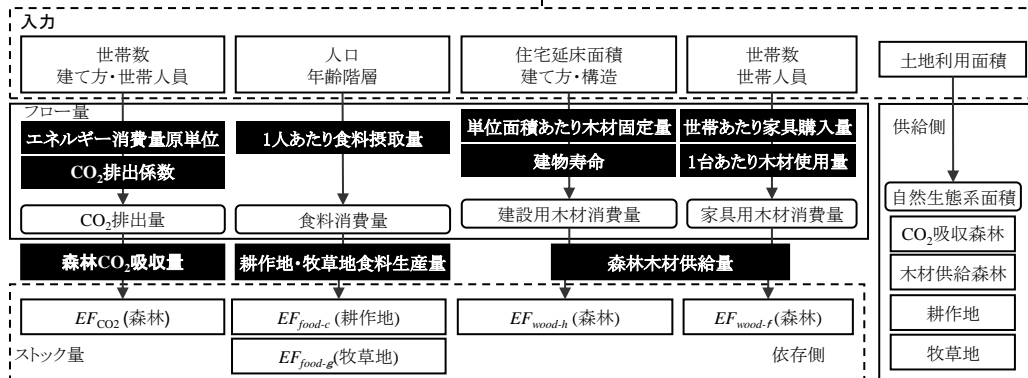


図1 生態系サービス依存度評価のフレームワーク

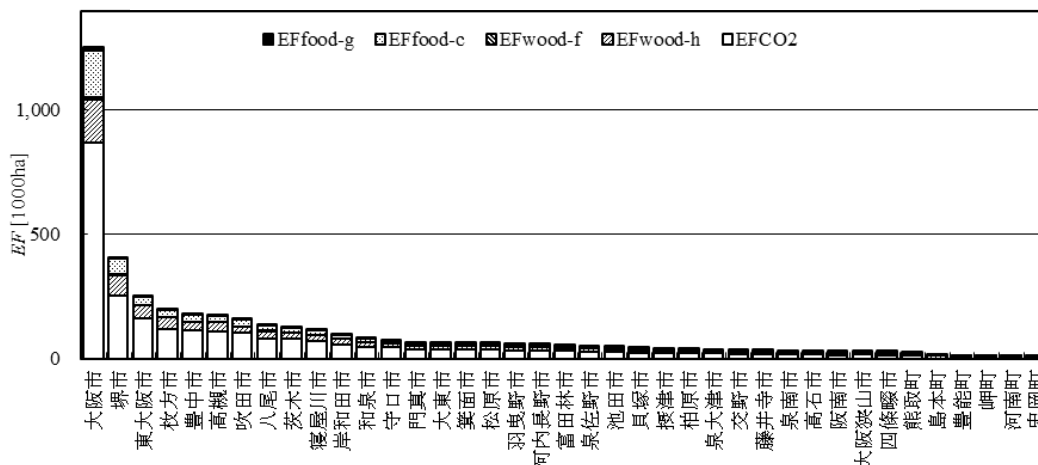


図2 大阪府の市町村別エコロジカルフットプリント

占めており、森林の CO<sub>2</sub> 吸収サービスが大きな割合を占めた。木材供給サービスの内 EF<sub>wood-f</sub> は EF<sub>wood-h</sub> の 10% 未満、食糧供給サービスの内 EF<sub>food-g</sub> は EF<sub>food-c</sub> の 10% 未満であり、家具のための木材供給と牧草地による食糧供給はともに無視できる比率であった。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 森田悠揮、松井孝典、瀧下雄大、加藤悟、町村尚、CSR 報告書を用いた生物多様性条約 COP10 前後の産業セクターにおける生物多様性対応の変化の分析、土木学会論文集 G、査読有、68(6)、2012、383-394
- ② 池野優子、松井孝典、加藤悟、町村尚、竹林資源管理支援のための環境・経済評価モデルの開発、土木学会論文集 G、査読有、68(6)、2012、455-464

〔学会発表〕(計 1 件)

渡辺浩志、松井孝典、加藤悟、町村尚、居住空間における木材利用から生じる文化的生態系サービスの選好の分析、第 40 回環境システム研究論文発表会

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

加藤 悟 (KATO SATORU)  
名古屋産業大学・環境情報ビジネス学部・  
准教授  
研究者番号：40323539