

# 農畜産物を事例とした複数の環境指標の比較に関する研究

環境システム学専攻 76891 勝田裕樹

指導教員：森口祐一教授、亀山康子准教授、橋本征二准教授

キーワード：エコロジカルフットプリント、マイルージ、ハイブリッド法、指標の比較

## 1. 緒言

昨今の地球温暖化を中心とした環境問題に伴い、環境負荷を評価する様々な指標が出現してきたが、多数の指標が乱立している故にその指標が適切に使用されているかどうかは分かりにくくなっている。指標の持つ特徴や意義を十分に理解したうえで活用することが大切である。

本研究では産業連関表上の農畜産部門を対象として食に関係の深い2つの環境指標を産業連関法で算出、既存研究と合わせた5つの指標で比較した。また特に複数の農畜産物を対象として、積み上げ法と産業連関法を組み合わせたハイブリッド法によって指標を算出し、上記の5つの指標のうち比較しうる計算結果になった4指標について比較した。以上の比較から指標間の傾向をつかむことによって指標の有効活用の仕方を検討する。

本研究で取り扱う5つのフットプリント指標の概要を以下に述べる。

### (1) エコロジカルフットプリント ( $m^2$ )

対象が直接、間接に踏みつけている、生態学的生産力のある土地面積。以下、EF。

### (2) カーボンフットプリント (g)

対象が直接、間接に排出した温室効果ガス量。CO<sub>2</sub>が主対象だが、他の温室効果ガスもCO<sub>2</sub>換算して含む場合があり、本研究ではCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oも含めた。以下、CO<sub>2</sub>もしくはGHG。

### (3) バーチャルウォーター( $m^3$ )

対象が直接、間接に使用した水の量。バーチャルウォーターとも称される。以下、VW。

### (4) エネルギーフットプリント (J)

対象が直接、間接に使用したエネルギー量。内包エネルギー消費量とも称される。

### (5) マイレージ (g・m)

対象を(輸送した距離)×(輸送した量)で表わされる量。フードマイレージ、ウッドマイレージなどがある。

## 2. 研究方法

本研究で扱う指標はライフサイクル全体を評価するための指標であるので、LCAで従来用いられてきた産業連関法とハイブリッド法を採用して各指標を作成・算出する。

### 2.1 産業連関法による各指標の原単位の作成方法

本研究では、5つの指標それぞれに産業連関表の各部門ごとの原単位が必要になる。ここで言う原単位とは、対象を百万円あたり生産するのに必要な各指標単位である。このうち、エネルギー、CO<sub>2</sub>、VWに関しては既存の研究<sup>2)3)</sup>による数値がある。本研究ではEFとマイレージについて原単位を作成した。これまで、フードマイレージやウッドマイレージの他にマイレージを適用した分野は見られないが、本研究では他の分野でも物を(輸送した距離)×(輸送した量)で定義した数値をマイレージと呼ぶことにする。

EFの原単位の作成方法を以下に述べる。土地を大きく分類すると、耕作地、園芸地、生産能力阻害地、牧草地、森林地などがあるが、それらを産業連関表の各部門をあてはめ、各部門の直接EF原単位( $m^2$ /百万円)を算出している。EFに関する直接的なデータが得られなかった部門は、類似の部門のデータを用いたり、生産金額の比によって割り振ることにより求めている。

続いてマイレージの原単位の作成方法を述べる。産業連関表の各運輸部門が、燃料等の生産部門とどれだけ取引しているのかのデータと、各運輸部門が使用する燃料等の原単位から、各運輸部門が百万円生産する際の直接マイレージ原単位( $t \cdot km$ /百万円)を算出した。

最後にこれらの直接原単位をinv(I-A)型逆行列とかけ合わせ直接・間接の原単位とした。

### 2.2 ハイブリッド法による各指標の算出方法

産業連関法では対象に近いプロセスの計算を詳細に扱えないので、より正確な計算を行うため、肉畜、きゅう

りを対象として、上記の産業連関法と、関連するプロセスを一つ一つ積み上げて計算する積み上げ法を組み合わせたハイブリッド法により、4つの指標を算出した。積み上げ計算の部分は『家庭生活のライフサイクルエネルギー』<sup>1)</sup>の生産費用額データと産業連関表の国内財と輸入財を分けないinv(I-A)型逆行列による原単位を用い、指標を算出している。

### 2.3 比較対象品目と諸条件

本研究では産業連関法では産業連関表の全部門（取引基本表の一部を統合した401部門）を対象に、ハイブリッド法ではきゅうり、おす乳牛、和牛、豚、鶏を対象とした。きゅうりは、冬どり、夏秋どりがあさらにハウス栽培加温・無加温・露地も含め4つの栽培方法について試算を行った。産業連関表は2000年のものを用い、その他各種データも基本的に2000年のデータを使用した。ただし2000年のデータが得られなかったものはできるだけ近い年のデータで代替している。

### 3. 産業連関表によるEFとマイレージの原単位の作成結果

EFは、図1のように直接踏みつけ地と廃棄物吸収地によって成り立っている。廃棄物吸収地とは、大気中に排出されたCO<sub>2</sub>を固定・吸収するために必要な森林面積のことで、CO<sub>2</sub>を排出するということはそれに相当する土地を踏みつけているという考えが元になっている。なお廃棄物吸収地は、CO<sub>2</sub>排出源として化石燃料の燃焼が大きく、エネルギーを生産する時にCO<sub>2</sub>が排出されることから、エネルギー地とも呼ばれる。なお、農畜産物を対象とした後述のハイブリッド法では廃棄物吸収地はCO<sub>2</sub>吸収地ではなく、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oを含めた温室効果ガス吸収地とみなすが、産業連関法においては、3EIDのCO<sub>2</sub>排出原単位を使用するためCO<sub>2</sub>吸収地として算出する。その算出結果が図2～図4である。図2は各部門の生産額百万円あたりの直接踏みつけ面積を示したものだが、部門番号が1～30付近の農畜産物部門で値が大きくなっている。農産物の栽培面積や、畜産物の放牧面積などが生産額に比して大きいためである。図3は各部門のCO<sub>2</sub>吸収地面積であるが、部門150付近の基礎素材産業部門で大きな値となっている。図4は図2と図3を足し合わせた、各部門の単位直接EFであるが、寄与度としては直接踏みつけ面積よりもCO<sub>2</sub>吸収地の方が大きく、全体としてもCO<sub>2</sub>吸収地の方が大きい部門のEFが大きくなっている。EFの内訳において廃棄物吸収地面積の寄与が大きいことが読み取れる。

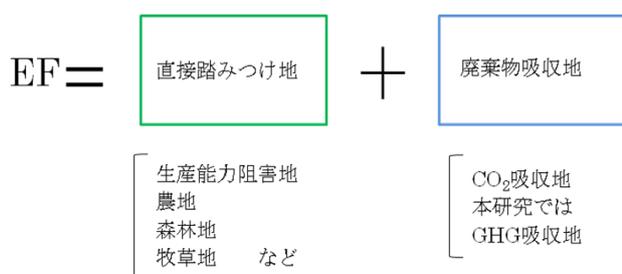


図1 エコロジカルフットプリントの内訳



図2 各部門の直接踏みつけ面積 (ha/百万円)

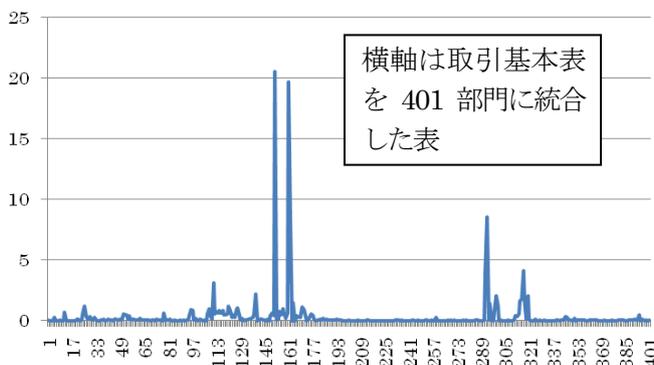


図3 各部門のCO<sub>2</sub>吸収地面積 (ha/百万円)

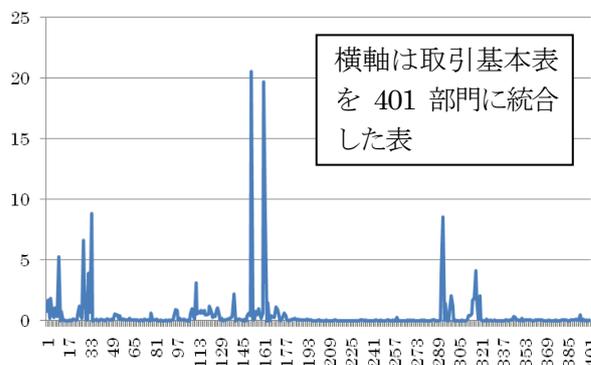


図4 各部門の単位直接EF (ha/百万円)

次にマイレージの原単位の作成結果を以下に示す。産業連関表の輸送部門ごとのマイレージを、表1のようにして算出した。

表1 輸送手段ごとのマイレージ

	走行t・kmあたりのCO <sub>2</sub> 排出量(A)	国内生産額あたりの燃料消費に伴うCO <sub>2</sub> 排出量(B)	マイレージの原単位(B/A)
輸送手段 / 単位	kg-CO <sub>2</sub> /t・km	kg-CO <sub>2</sub> /百万円	t・km/百万円
鉄道貨物輸送	0.021	2553	17856
道路貨物輸送	0.178	4006	263129
自家輸送(貨物自動車)	1.5	12349	30466
沿海・内水面輸送	0.04	13738	327191
港湾運送	0.04	1159	37572
航空輸送	1.483	11477	24907

続いて算出したEFとマイレージの直接原単位を用い、以下の式に従ってEFとマイレージの直接・間接の原単位を算出した。

$$M_i = \sum_{j=1}^{401} a_j \cdot b_{ij}$$

$M_i$  : 産業連関表の部門番号*i*の生産額あたり直接・間接の原単位 (t・km/百万円またはm<sup>2</sup>/百万円)

$a_j$  : 部門番号*j*の生産額あたり直接原単位 (t・km/百万円またはm<sup>2</sup>/百万円)

ただし、マイレージの算出の際は鉄道貨物輸送、道路貨物輸送、自家輸送(貨物自動車)、沿海・内水面輸送、港湾運送、航空輸送以外の部門の値はすべて0とする。

$b_{ij}$  : 産業連関表の部門番号*i*のinv(I-A)型逆行列係数(列ベクトル)

#### 4. 産業連関法による各指標の原単位の比較

産業連関表の各部門ごとに、EFとマイレージについて直接・間接の原単位を求め、既存研究の他の3つの指標と合わせて5つの指標を農畜産部門を対象として、一つのグラフにまとめたものが図5である。相対的な比較をするため、各指標とも各部門の単純平均値が1になるように調整している。

特徴的な部分としては、部門10(飼料作物)のEFが大きく、部門2(麦)、部門4(豆類)も相対的なEFが大きかった。こうした部門が生産額あたりに多くの土地を要することが分かる。部門15(鶏卵)、部門16(肉鶏)、部門17(豚)、は相対的にマイレージが大きくなっている。これらの部門では生産額あたりに必要な原材料を多く輸送している可能性がある。部門25(漁業)は相対的にCO<sub>2</sub>、エネルギーが高いが、これは生産額あたりに多くの燃料を要するためと考えられる。VWは部門1(米)及び部門27(内水面漁業・養殖業)及びその他の農産物で大きくなっている。以上を見ると農畜産部門においては、エネルギー、CO<sub>2</sub>はほぼ同じ傾向を示し、EFも部分的には同じような傾向を示す。これは、エネルギーは化石燃料の消費への依存度が高いために、EFはCO<sub>2</sub>吸収地の割合が大きいためにCO<sub>2</sub>と傾向が同じになると考えられる。VWとマ

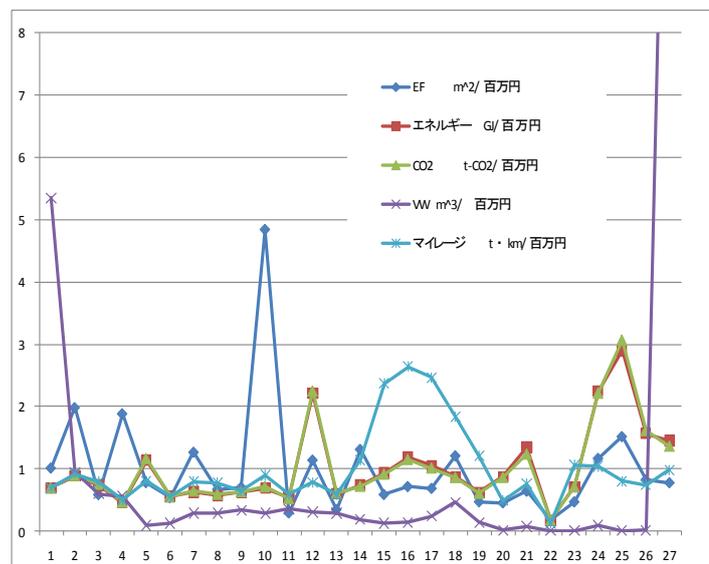


図5 産業連関表の農畜産部門の5指標の比較  
(エネルギー、CO<sub>2</sub>は南斉ら<sup>2)</sup>、VWは浅見ら<sup>3)</sup>)

部門1(米)及び部門27(内水面漁業・養殖業)及びその他の農産物で大きくなっている。以上を見ると農畜産部門においては、エネルギー、CO<sub>2</sub>はほぼ同じ傾向を示し、EFも部分的には同じような傾向を示す。これは、エネルギーは化石燃料の消費への依存度が高いために、EFはCO<sub>2</sub>吸収地の割合が大きいためにCO<sub>2</sub>と傾向が同じになると考えられる。VWとマ

イレージはそれらと比較すると傾向が異なる。従って、例えば、カーボンフットプリントという指標によってエネルギー、EFをいった指標は代替可能であるが、VWとマイレージは全く異なった問題を表現する指標として位置付ける必要がある。フードマイレージについては、フードマイレージが大きい=CO<sub>2</sub>排出量が大きいという認識がなされることも多いと考えられるが、図5の結果にあるようにCO<sub>2</sub>の傾向とは一致しない。フードマイレージは、CO<sub>2</sub>の指標ではなく地産地消を推奨する指標と考えるのがより適切と考えられる。米やその他の農産物を評価対象とする場合、CO<sub>2</sub>やEFのみを考慮するとVWが比較的大きいことを無視してしまうように、その対象によって考慮すべき指標が変わってくる可能性を示唆している。

## 5. ハイブリッド法による各指標の算出結果と考察

ハイブリッド法によって、本研究の対象農畜産物について5つの指標（カーボンフットプリントについてはGHGとCO<sub>2</sub>の2つ）を算出した（図6）。前章と同様、単純平均値を1として示している。

GHGとEFがほぼ同じ傾向を示しているが、これはEFにおけるGHG吸収地の割合が大きいためである（図7）。一方、CO<sub>2</sub>はエネルギーとほぼ同じ傾向を示す。EFの特徴として排出する廃棄物（ここではGHG）の吸収地も踏みつけ面積に含めることがあるが、吸収地がEF指標の大きさに大きな影響を与えることが分かる。

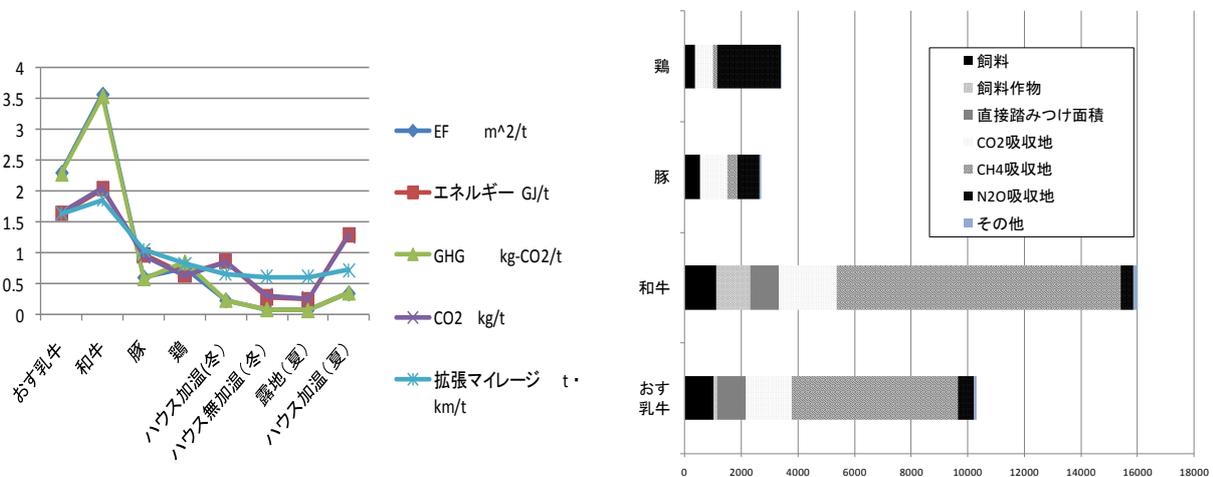


図6 ハイブリッド法による農畜産物の4指標の比較

図7 家畜のEFの内訳 ( m<sup>2</sup>/670 kg )

## 6. 結言

食に関連する5つのフットプリント指標の比較の結果、エネルギーとCO<sub>2</sub>については同じ傾向を示すことから、片方の指標でもう一方の指標を代替できると考えられた。しかし、家畜のふん尿処理、家畜の消化管内発酵によるCH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oを考慮したGHGについてはエネルギーとは異なる傾向を示すことから、異なる指標として解釈するのが適切と考えられる。EFは廃棄物吸収地を含むが、CO<sub>2</sub>吸収地なら直接踏みつけ面積の割合も大きい、GHG吸収地だとすると、吸収地の割合が非常に大きくなりGHGとほぼ同じ傾向を示すことになる。したがって、吸収地の定義により食に関連する分野でのEF指標の意義が変わる可能性があることに留意する必要がある。

以上のように、本研究で取り上げた指標を活用する際には、

- ① その指標が評価する範囲によって意味するものが変化する場合があること
- ② 考慮していない他の指標との関係を理解した上で使用することが望ましい。

## 7. 参考文献

- 1) 社団法人資源協会編：家庭生活のライフサイクルエネルギー， あんほるめ p119, p167 (1994)
- 2) 南斉規介、森口祐一、東野達：産業連関表による環境負荷原単位データブック， 国立環境研究所 (2002)
- 3) 浅見悦正、本下昌晴、伊坪徳宏：産業連関分析法を用いた水資源データベースの作成と食材への応用， 第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集， pp.16-17(2009)