

# 仮想水投入を考慮した 日本国内消費食料のエコロジカルフットプリント評価

吉川 直樹<sup>1</sup>・押川 由希<sup>2</sup>・天野 耕二<sup>3</sup>・島田 幸司<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 立命館大学助手 理工学部環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp

<sup>2</sup>立命館大学 理工学部環境システム工学科 (研究当時)

<sup>3</sup>正会員 立命館立命館大学教授 理工学部

E-mail:amano@se.ritsumei.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 立命館立命館大学教授 経済学部

E-mail:shimada@ec.ritsumei.ac.jp

持続可能性指標のなかでも、エコロジカル・フットプリント (EF) 指標は、指標の包括性や理解のしやすさから多くの適用例があるが、たとえば食料消費に適用する場合、水資源消費をはじめとした重要な環境負荷が含まれていないことが問題となる。本研究では、仮想水投入を考慮したエコロジカル・フットプリント指標を提案し、これを日本国内の食料消費に適用し、将来シナリオを含めた評価を行った。その結果、仮想水投入に伴うEFは、品目ごとの水需要構造や各国の水資源状況に依存することを確認した。わが国の2002年の食料消費によるEFは、国土面積の約7倍となり、うち51%は国外生産に由来することがわかった。また、海洋・淡水域を除いたEFは国土面積の約1.5倍程度となった。また、将来の食料需給目標に基づく2015年のシナリオでは、EFは増加するが、国外依存分は減少することが予測された。

**Key Words** :ecological footprint, food consumption, virtual water

## 1. はじめに

人間活動の持続可能性の評価において、これまでにいくつかの指標が提案されている。なかでも、様々な環境への負荷を統合し、土地面積という形で表現したエコロジカル・フットプリント (EF) 指標は、指標の包括性やその直感的な理解のしやすさなどから多く用いられている。

エコロジカル・フットプリントの適用例としては、WWFが、全世界での消費活動を対象としたレポート<sup>1)</sup>のほかに、わが国においても、国内での経済活動 (生産・消費) に伴う環境負荷のEFを推計した例<sup>2) 3)</sup>がある。これらの推計では、全世界のEFは、地球の面積の約1.25倍<sup>1)</sup>、わが国における消費に起因するEFは、わが国の国土面積の7.82倍<sup>2)</sup>であると報告されている。また、既存研究において、エコロジカル・フットプリント指標からみたわが国の消費に伴う環境への負荷において、食料消費が一つの大きな要因であることが指摘されており、前出の推計<sup>2)</sup>では、わが国の食料・飲料・たばこの家計消費に伴うEFが、全家計消費によるEFの18%を占めるとしている。

一般的なEFの推計<sup>1)2)</sup>では、①農地・牧草地、②森林地、

③海洋・淡水域、④二酸化炭素吸収地、⑤生産能力阻害地をその推計の対象としている (表-1)。しかし、食料の生産においては、灌漑による淡水資源の使用量が大きく、環境負荷として無視することができない。環境負荷の総合的な指標であるエコロジカル・フットプリントにおいても、水資源を明示的に評価に加えることが望ましいと考えられる。また、食料輸入の多いわが国では、これらの環境負荷を国外に負担させる形となり、消費に伴う環境負荷の負担構造について、地理的な分析も行う必要がある。

これら問題に対し、犬塚ら<sup>4)</sup>は、わが国の貿易活動に伴う国外の水資源の影響として、当該貿易品を国内で生産した場合に必要な水資源量である仮想水 (バーチャルウォーター)、および、生産国で実際に使われた水資源量であるウォーターフットプリントの2つの指標を用いて推計している。また、豊田ら<sup>5)</sup>は、中国での小麦生産を対象として、灌漑用水を評価項目に加えたエコロジカル・フットプリント分析を行っている。しかし、食料などの消費活動に関して、水資源と従来のエコロジカル・フットプリント指標を統合的に扱い、環境負荷を評価した事例筆者の知る限りない。

そこで本研究では、仮想水概念を包含したエコロ

表-1 エコロジカル・フットプリント指標の土地カテゴリ

土地カテゴリ	定義
農地・牧草地	農作物および食肉、乳製品、鶏卵を生産するのに必要な農地および牧草地
森林地	木材や紙の製造に必要な森林地
海洋・淡水域	水産物の生産に必要な海洋・淡水域
二酸化炭素吸収地	エネルギー消費に伴い排出される二酸化炭素の吸収に必要な森林面積
生産能力阻害地	本来生産性がある土地にもかかわらず、道路、建物、廃棄物処理場、その他の利用のために生産可能性が阻害されている生産能力阻害地

ジカル・フットプリント指標を提案し、この指標を用いて、わが国の食料消費に起因する環境負荷を推計する。さらに、将来の食料消費の見通しに基づくEFの時系列的な分析も行う。

## 2. 仮想水を考慮したエコロジカル・フットプリント指標

### (1) 仮想水とエコロジカル・フットプリント

エコロジカル・フットプリントは、人間活動における自然資源消費の規模を表す指標であり、いくつかの土地利用や資源消費・環境負荷を土地面積という形で包括的に評価することができる。エコロジカル・フットプリントは、地球、あるいは各国の国土面積と比較することで、生産・消費活動の大きさが環境容量、すなわち生物生産力をどの程度超過している(あるいは超過していないか)を直感的かつ簡便に知ることができるという点で有用な指標である。

従来のエコロジカル・フットプリント指標は、表-1の5つのカテゴリから構成される。これらのうち、農地・牧草地、森林地、海洋・淡水域、生産能力阻害地は、それぞれ直接的な土地利用や土地資源(水域も含む)で生産される消費に由来する生態系の踏みつけ面積を表す。二酸化炭素吸収地は、化石燃料起源の二酸化炭素排出を吸収するための森林面積であり、仮想的に当該目的に利用するための面積を示している。

一方、淡水資源の消費も、人間活動の大きさを表すうえで重要な指標である。仮想水、あるいは、ウォーターフットプリント等の水資源消費に関する指標のみでも、生産・消費活動における水資源消費の大きさを示すことができる。しかし、その環境容量との相対的な関係を土地面積という形で記述し、EF指標として統合的に扱うことができれば、総合的な環境指標であるEF指標の包括性をより高めることができると考えられる。

仮想水は、貿易品を輸入国側で生産した場合に必要な水資源量であり、輸出国の水資源に対する、輸入国の貿易の結果としての依存度合いを示すものである。すなわち、わが国における消費に伴う仮想水投入

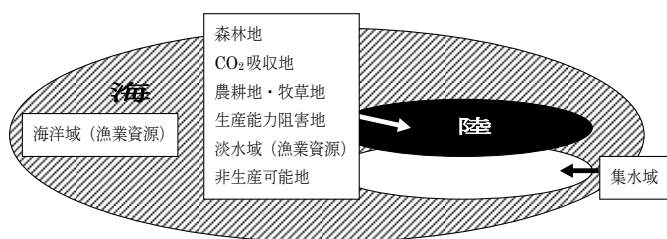


図-1 仮想水を考慮したエコロジカル・フットプリント指標のイメージ

量は、輸入相手国で実際に消費された水資源量ではなく、輸入先相手国における産業・品目ごとの水資源使用状況が、わが国と同じであると仮定した場合の水資源投入量となる。この仮想水投入量をEFに換算するには、何らかの形で土地面積に換算する必要がある。本研究では、水資源の利用は、当該水資源の集水域の利用であると考え、利用する水資源を集めるのに必要な集水域面積を算出し、この面積をEFの算出にあたり考慮することとする。この取り扱いにより、各国の水資源の希少性のある程度反映した評価が可能になる。

従来のEFは、表1の土地カテゴリを合算することで産出されている。二酸化炭素吸収地を除く4つのカテゴリは、土地資源、海洋・淡水資源の利用であり、それらを合算することは問題とならない。二酸化炭素吸収地は、実際に二酸化炭素吸収目的で利用されていないが、EF推計にあたっては、他の4つの土地カテゴリと概念的に重複することがない(ある土地が、同時に2つ以上の土地利用カテゴリに属することができない)ため、5つのカテゴリを合計することができる。

しかし、集水域として利用される土地は、概念的に他の土地カテゴリ(海洋・淡水域のうち海洋域を除く)と重複して利用することが可能であることに注意が必要である。すなわち、水資源の集水域であることが、森林・農地・建築などの土地利用を妨げるものではないと考えられる。たとえば、天水農業では、農耕地は農業用水利用のための集水域でもあると解釈することができる。灌漑農業では、天水以外にも灌漑用水を用いるため、その水資源を得るための集水域が必要になるため、集水域面積は農耕地面積よりも大きくなる。ただし、追加的な集水域面積は他の土地利用と重複しうるため、集水域面積をそのまま従来のEFに加算する方法は、EF指標における環境容量が水域を含む土地面積であることを鑑みても過大評価となる恐れがある。

豊田ら<sup>5)</sup>では、灌漑用水に由来するEFを従来のEFに加算する方法をとっているが、本研究では、以上の考えの下、集水域面積を海洋域以外の各土地カテゴリとは合算せず、値を並列させることで比較を行い、より面積の大きい方をEFとして採用することで評価を行う

手法をとることとする(図-1)。一方の面積を採用した場合でも、他方の影響はその面積の中に包含されているといえ、この方法を用いても、どちらかの影響を評価しないといった論理的な矛盾を生じないと考えられる。

## (2) 仮想水を考慮した食料消費における EF の推計手法

本節では、仮想水を考慮した食料消費における EF について、食料消費を対象として適用する場合の具体的な推計手法を述べる。

### a) 農地・牧草地

農地・牧草地面積は、消費食料の生産に必要な農地面積であり、式(1)を用いて推計する。

$$EF_a = \sum_i \sum_j \frac{x_{ij}}{P_{ij}} \quad (1)$$

ここで、 $EF_a$  : 農地・牧草地面積 (ha) ,  $i$  : 品目,  $j$  : 生産国,  $x_{ij}$  :  $j$  国で生産された品目  $i$  の国内消費量(t),  $P_{ij}$  :  $j$  国で生産された品目  $i$  の土地生産性(t/ha) 式(1)では、農産物の各生産国の品目別の土地生産性を反映させ、実際の生産に必要な土地面積を算出している。

畜産物に関しては、その生産に必要な飼料生産のための農地・牧草地面積から、間接的な土地生産性を推計し(式(2))、そこから式(1)を用いてEFを算出した。なお、畜産物については、輸入品の土地生産性が国産品と同等であるとして推計を行っている。

$$P_{livestock} = y_{livestock} / \left( \sum_f \sum_j \frac{x_{f,j}}{P_{f,j}} \right) \quad (2)$$

ここで、 $P_{livestock}$  : 畜産物の土地生産性(t/ha) ,  $f$  : 飼料品目(牧草含む) ,  $y_{livestock}$  : 畜産物の国内生産量(t)

なお、土地生産性には、明示的ではないが、各生産国の水資源の賦存状況が影響していると考えられる。そのため、水資源の多寡による影響を、後述の食料生産用集水域面積ではないこのカテゴリにおいて含んでいることになる。しかし、(1)で述べたように、これら2つのカテゴリは概念的に重複可能であり、集水域の踏みつけと土地生産性の多少による必要農地面積の影響を足し合わせることによる過大評価を行うことはない。また、推計手法上、両影響のどちらかを考慮に入れないことはないため、この手法を用いることによる問題はないと考えられる。

### b) 海洋・淡水域

わが国の食料需給において、水産物はたんぱく質供給面などにおいて重要な位置を占める。したがって、EFの推計においても、陸域への影響に加え、海洋・淡水域への影響を考慮する必要があると考えられる。

海洋・淡水域面積は、消費される水産物の生産に必要な水域面積とし、富士総合研究所<sup>2)</sup>に従い、式(3)に

よって算出することとする。この式では、水産物の品目別に、生産物を得るために必要な一次生産のための海域面積を推計し、EFとしている。

まず、わが国における水産物の品目別需要量を、各生物の海域別存在割合<sup>2)</sup>を用いて、海域ごとの存在量へ配分し、海域ごとの平均混雑率の値を用いて、混雑分を含む正味の漁獲量を推計する。さらに、海域別の品目別栄養段階データ<sup>2)</sup>より、各品目の単位漁獲量を得るのに必要な一次生産量を推定する。そこから、海域別の単位面積あたり一次生産量を用い、海洋・淡水域面積を算出する。

$$EF_m = \frac{x_i J_{iq} (1 + L_q) \cdot 10^{(M_{iq}-1)}}{9 N_q} \quad (3)$$

ただし、 $EF_m$  : 水産物生産に必要な海洋・淡水域面積(ha) ,  $q$  : 海域(淡水域を含む) ,  $J_{iq}$  : 水産物品目  $i$  の海域  $q$  における存在率,  $L_q$  : 海域  $q$  の平均混雑率,  $M_{iq}$  : 水産物品目  $i$  の海域  $q$  における栄養段階,  $N_q$  : 海域  $q$  の単位面積あたり一次生産量(tC/ha)

なお、このうち海産物生産に必要な海洋域( $q \neq$  "淡水域")面積を  $EF_{mo}$  で、淡水産物生産に必要な淡水域( $q =$  "淡水域")面積を  $EF_{mf}$  で表す。

$$EF_m = EF_{mo} + EF_{mf} \quad (4)$$

### c) 二酸化炭素吸収地

二酸化炭素吸収地は、消費食料の供給に伴う二酸化炭素排出量を吸収するために必要な森林面積と定義する。農業生産をはじめとする食料生産では、農場段階での直接的なエネルギー消費に加え、肥料などの投入資材の生産に伴う二酸化炭素排出量の影響も大きく、輸入を含む輸送段階も無視できない。そのため、それらを対象とするライフサイクルアセスメント(LCA)手法<sup>6)</sup>に基づく食料の生産・輸入に伴う二酸化炭素排出量を推計し、これを世界の森林の単位面積あたり平均二酸化炭素吸収量で除することでEFを算出する(式(5)) こととする。

$$EF_{CO2} = \frac{\sum_i \sum_j (c_i + s D_j) x_{ij}}{C} \quad (5)$$

ここで、 $EF_{CO2}$  : 二酸化炭素吸収地面積(ha) ,  $c_i$  : 品目  $i$  の単位重量生産あたりライフサイクル二酸化炭素排出量(t-CO<sub>2</sub>/t) ,  $s$  : 外航海運の輸送トンキロあたり二酸化炭素排出量(t-CO<sub>2</sub>/tkm) ,  $D_j$  :  $j$  国から日本までの輸送距離(km) ,  $C$  : 森林の単位面積あたり平均二酸化炭素吸収量(t-CO<sub>2</sub>/ha)

### d) 食料生産用集水域

食料生産用集水域面積は、消費食料の生産に必要な水資源の集水域面積とし、次式により推計する。

$$EF_{vw} = \sum_j \sum_i \frac{vw_i x_{ij}}{d_j} \quad (6)$$

$$d_j = \frac{W_j}{A_j} \quad (7)$$

$EF_{vw}$ : 食料生産用集水域面積 (ha),  $vw_i$ : 品目  $i$  の生産における仮想水原単位 ( $m^3/t$ ),  $d_j$ :  $j$  国における仮想的平均水深 (m),  $W_j$ :  $j$  国における水資源量 ( $m^3$ ),  $A_j$ :  $j$  国の国土面積 ( $m^2$ )

すなわち、水資源消費量からEFを算出するための換算係数として、国土全域を集水域と仮定し、土地面積との相対的な水資源の豊富さを示す仮想的平均水深を推計する。国別に推計した仮想的平均水深を用いて、各国での食用生産に必要な（仮想）水資源を得るための集水域面積に換算し、これを食料生産用集水域面積とする。

#### e) エコロジカル・フットプリントの評価

各土地カテゴリの推計値から、総合的なEFを推計する。総合的なEFの算出では、土地利用カテゴリごとの生物的生产性を基準とした、生態系への踏みつけの程度を示す係数（等価ファクタ）を用いて重み付けを行い、土地カテゴリごとの面積を合算する事例<sup>1)</sup>もあるが、本研究では、仮想水に関して他の土地カテゴリとの相対的な重み付けを行うことが困難であることから、等価ファクタを用いない。そのため、農地、海洋・淡水域については実際の利用面積をそのままEFに算入することとなる。農地・牧草地、海洋・淡水域、二酸化炭素吸収地の合計値が従来のEFであり、このEFと、海洋域と食料生産用集水域の合計を比較し、より大きい値を仮想水を考慮したEFとする。

$$EF_{all} = \max\{EF_a + EF_m + EF_{CO2}, EF_{vw} + EF_{mo}\} \quad (8)$$

ただし、 $EF_{all}$ : 仮想水を考慮した総合エコロジカル・フットプリント (ha)

### 3. 日本国内消費食料のエコロジカル・フットプリント評価

#### (1) 評価概要

本節では、2002年を基準とした日本国内消費食料の仮想水を考慮したエコロジカル・フットプリント評価を行う。評価対象は、穀類・いも類・豆類・野菜・果実・油脂類・砂糖・きのこ類・水産物・畜産物である。対象年の各食料の国内生産・輸入量や各係数に関するデータを収集し、推計を行った。なお、本稿では、生鮮食料・原料の生産・輸入に伴う環境負荷のみを推計し、加工・業務部門における環境負荷は対象としない。

#### (2) 収集データ

##### a) 食料生産・輸出入

食料消費のEFの算出には、食料の国内生産、輸出入

データが必要になる。国内生産量は農林水産省<sup>7) 8)</sup>を、輸出入は貿易統計<sup>9)</sup>を用いた。貿易統計では、乾燥品・缶詰など加工品の輸出入データが含まれているが、これらについては、生鮮原料への換算係数<sup>2) 10)</sup>を用いて生鮮換算した。

##### b) 農地・牧草地

農地・牧草地は、わが国で消費の食料を供給するための農地を推計する。日本国内の農地面積は、農林水産省<sup>11)</sup>より、非食用作物と輸出分を除く各品目の栽培面積を用い、耕地利用率で除した面積とした。輸入品の品目別土地生産性は、FAO<sup>12)</sup>の品目別生産量と栽培面積から、各品目の輸入量上位5カ国について算出した。

##### c) 海洋・淡水域

海洋・淡水域面積は、水産物の国内消費量、および輸出入量<sup>9)</sup>から、2 (2) 節の手法を用いて推計した。本研究における水域分類および、水域別平均混獲率と単位当たり一次生産量を表-2に示す。なお、国内生産分では、養殖用餌との二重計上を避けるため、養殖魚を除いて推計を行った。

表-2 海域別の平均混獲率と単位面積あたり一次生産量

海域	平均混獲率 (%)	単位面積あたり一次生産量 (t-C/ha)
遠洋域	20.0	1.03
湧昇流域	15.1	9.73
熱帯大陸棚	30.5	3.10
非熱帯大陸棚	44.1	3.10
沿岸・珊瑚礁海域	31.4	8.90
淡水域	0.0	2.90

##### d) 二酸化炭素吸収地

二酸化炭素吸収地面積の算出のうち、食料生産にかかる二酸化炭素排出量は、産業連関分析に基づく、国内産業部門（約400部門）別のライフサイクル環境負荷データ<sup>13)</sup>を用いた（表-3）。産業連関法によるデータを用いたのは、積み上げ法による推計に比べ詳細な品目ごとの推計精度は劣るものの、全産業分類を含むことから、すべての食料品目を網羅できるためである。なお、同資料<sup>13)</sup>では、固定資本形成に伴う環境負荷を含めた排出原単位についても算出されているが、ここでは固定資本形成を含めない値を用いた。

このデータは、日本国内での生産を仮定しているものの、輸入品の推計に必要なデータを十分収集できなかったため、輸入品についても同じ値を適用した。また、同資料には、食料の国外から日本までの輸送が含まれていないため、海上輸送を仮定し、各国から日本までの海上輸送距離<sup>14)</sup>に、海運の二酸化炭素排出原単位 ( $19.4g-C/tkm$ )<sup>15)</sup>を乗じて、輸送に伴う二酸化炭素排出量を推計した。

森林の単位面積当たり二酸化炭素吸収量には、世界の平均的な値である1.42t-C/ha/yr<sup>2)</sup>を用いた。

表-3 主要食料の生産に伴うライフサイクル二酸化炭素排出原単位(t-CO<sub>2</sub>/t)<sup>13)</sup>

米	0.403	雑穀	0.589
小麦(国産)	0.375	油糧作物	0.725
大麦(国産)	0.347	飼料作物	0.011
かんしょ	0.128	生乳	0.133
ばれいしょ	0.078	鶏卵	0.452
大豆(国産)	0.396	肉鶏	1.462
その他の豆類	0.539	豚	0.072
野菜	0.341	肉用牛	0.898

表-4 主要品目の仮想水原単位(m<sup>3</sup>/t)<sup>16)</sup>

大豆	2,500	牛肉	14,400
米(精白米)	3,600	豚肉	4,100
小麦	2,000	鶏肉	3,000
とうもろこし	1,900	鶏卵	3,200
馬鈴薯	200	牛乳	560
りんご	400	サトウキビ	200
かぼちゃ	200	レタス	200

表-5 主な食料輸入相手国における集水域仮想平均水深の推計値

	土地面積(千km <sup>2</sup> )	国内総再生可能水資源量(km <sup>3</sup> /year) <sup>17)</sup>	集水域仮想平均水深(m)
日本	378	420	1.11
中国	9,598	2,897	0.30
タイ	513	410	0.80
カナダ	9,971	2,902	0.29
アメリカ	9,629	3,069	0.32
オーストラリア	7,741	492	0.06
アルゼンチン	2,780	814	0.29

### e) 食料生産用集水域

食料生産に関する仮想水原単位は沖<sup>16)</sup>の値を用いた(表-4)。各国の仮想的平均水深の推計には、FAO<sup>17)</sup>の「土地面積(Area of country)」と「国内総再生可能水資源量(Water resources: total renewable)」の値を用いる。推計された主な国の仮想的平均水深を表-5に示す。

### (3) 評価結果

図-2に、海洋域を除く(淡水域は含む)土地カテゴリ別の推計結果を示す。食料生産用集水域とそれ以外の土地カテゴリは重複可能であるため、並列し、国内・国外依存分に分けて示した。農地・牧草地、二酸化炭素吸収地、淡水域の合計では、二酸化炭素吸収地の割合が、国内・国外ともに最も高い。国外の二酸化炭素吸収地のうち、食料のわが国までの輸送による排出分が46%を占めた。

国内依存分では、食料生産用集水域がその他の土地カテゴリのEFを下回ったのに対し、国外依存分ではこれを上回っている。これは、生産量あたりの仮想水原単位の小さい野菜・果実の食料自給率が比較的高いのに対し、それらと比較して原単位の大きい飼料穀物の自給率が低いこと、および輸入相手国の水資源の希少性(仮想的平均水深)の影響によるものと考えられる。

土地カテゴリ別のEFのうち、農地・牧草地と食料生産用集水域の輸入相手国別EFの推計結果の比較を図-3に示す。どちらも、日本の食料の主要輸入相手国であるアメリカとオーストラリアが上位を占めているが、食料生産用集水域で両国の割合がより高い。また、デンマーク・カナダといった畜産物・穀物の輸入相手国が上位を占めていることより、これら品目の集水域面積への影響が大きいことがわかる。また、農地・牧草地と異なり集水域面積においてオーストラリアがアメリカを上回っているのは、設定した仮想的平均水深の差による。農地・牧草地では、ガーナ、コロンビアといった穀物・畜産物輸入のない国で比較的EFが大きい、これは土地生産性の低いカカオ豆・コーヒー豆の輸入によるものである。

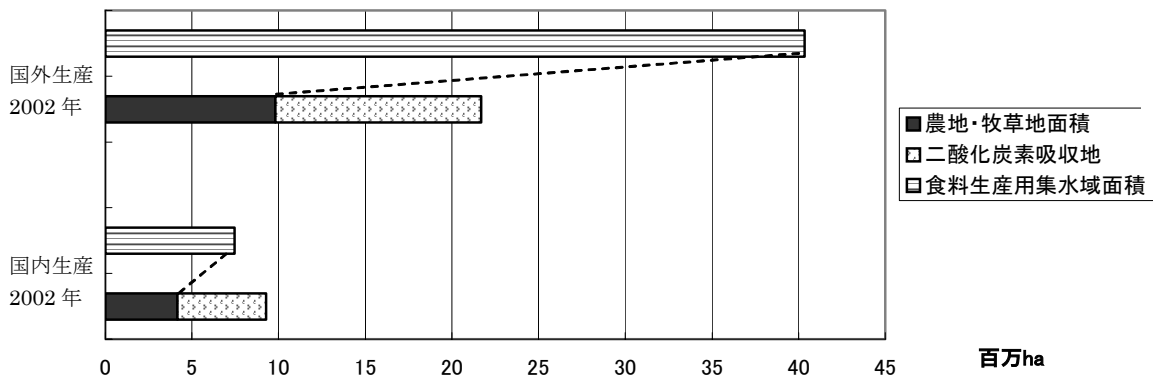


図-2 海洋域を除く土地カテゴリ別 EF 推計結果

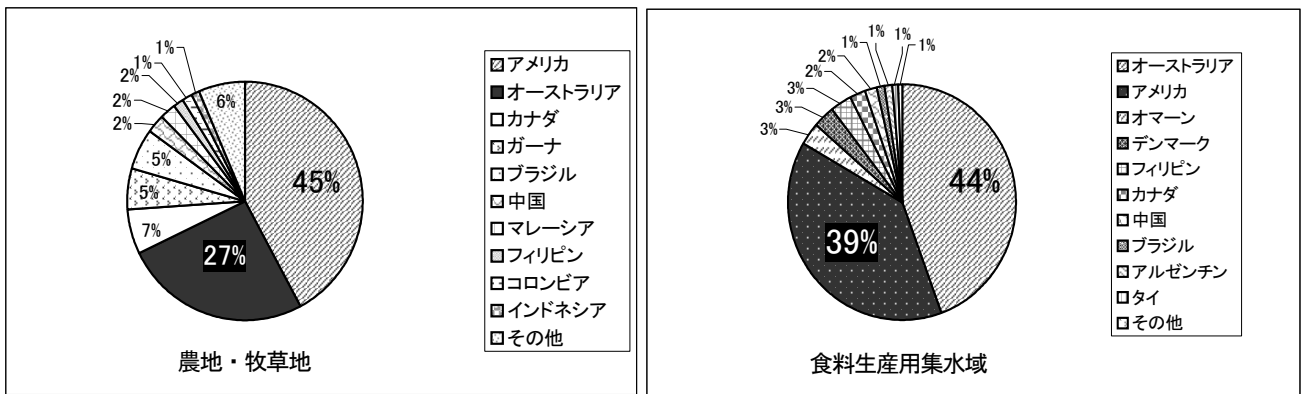


図-3 土地カテゴリ別 EF の国別内訳

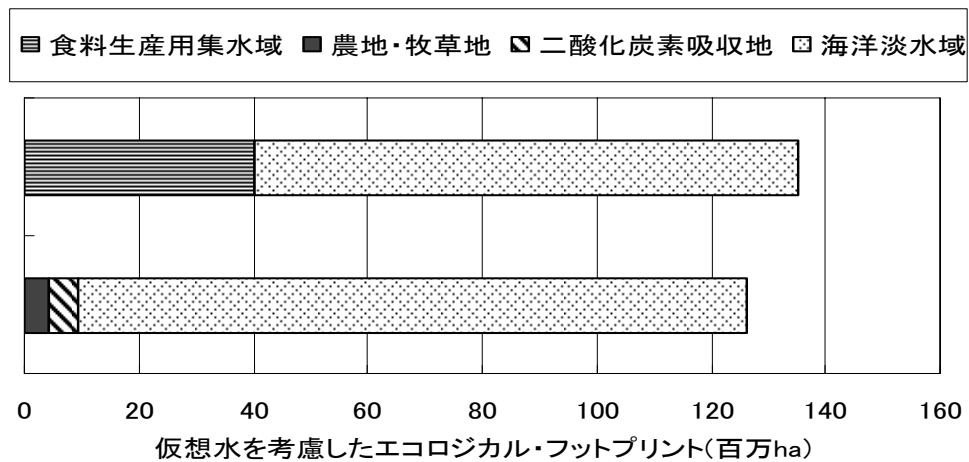


図-4 わが国の食料消費における EF の推計結果

図-2 の結果より、国外依存分では食料生産用集水域面積を、国内依存分では農地・牧草地面積および二酸化炭素吸収地面積を EF に算入し、海洋・淡水域面積を加えた総合的な EF の推計結果が図-4 である。わが国の食料消費による EF は、わが国の国土面積の約 7 倍であり、海洋・淡水域を除いても約 1.5 倍程度であることがわかった。わが国は人口に比べ国土面積の狭い特殊な地理的条件を有するものの、食料の消費のみでも、EF 指標によるわが国の環境容量を超えている状況であるといえる。また、わが国は、食料消費に伴う EF のうち 51%を、海洋・淡水域を除くと 81%を国外に依存している。

なお、本研究では、前述のように集水域面積の扱いの問題から、EF の算定に等価ファクタを用いていない。仮に等価ファクタを導入した場合、海洋・淡水域の EF については、陸域に比べ生物学的な土地生産性が低いため、重み付けの係数が小さく評価され海洋・淡水域の評価結果は大きく変化する可能性がある。本稿では、仮想水による EF の重み付けのための等価ファクタについて、他の土地カテゴリと整合的になるような取り扱いに関する十分な検討を行っていないが、この点に関しては今後の課題である。

#### 4. 日本国内消費食料エコロジカル・フットプリントの将来変化

##### (1) 概要

3節では食料消費の EF の現状評価を行ったが、より持続可能性の高い食料消費を目指すためには、将来の状況変化を考慮に入れた検討を行う必要がある。政府は、現在の日本の食料自給率の状況を受け、自給率向上の施策を進めており、農林水産省では、「望ましい食料消費の姿」として、国内の生産努力目標を打ち出している<sup>18)</sup>。本節では、この目標が実現した場合、EF 指標にどのような影響が現れるかを考察する。

##### (2) 分析シナリオ

本稿では、2015年における「望ましい食料消費の姿」のシナリオを用いて、EF の推計を行う。ただし、野菜、果実、油脂、魚介類は、2002年で加工品に関して貿易データから換算係数を用いた筆者推計によるため、統計値<sup>7)</sup>と本研究の値とは必ずしも一致していない。そのため、これらの品目の2015年における値については、農林水産省<sup>18)</sup>の2002年値と2015年値の日に本研究の2002年値を乗じた値を設定した。本稿で用いた食料消費

費の将来シナリオを表-6に示した。

各品目の詳細な内訳および輸出量は2002年と一定と仮定する。また、輸入相手国の内訳も2002年と同比率であるとした。さらに、二酸化炭素排出原単位・水需要原単位・各品目の土地生産性に関しても、2002年から一定であると仮定した。すなわち、食料消費パターンの変化と、食料の輸入割合の変化のみ反映した推計を行っている。

表-6 食料消費の将来シナリオ

品目	2002年度		2015年度	
	国内消費量(万t)	うち国内生産(万t)	国内消費量(万t)	うち国内生産(万t)
米	946	889	1,008	969
小麦	620	83	652	80
大麦・裸麦	245	22	258	35
かんしょ	107	103	120	116
馬鈴薯	379	307	416	350
大豆	531	27	511	25
野菜	1,592	1,327	1,725	1,498
果実	877	388	842	431
牛乳・乳製品	1,217	838	1,318	993
肉類	計	564	300	534
	牛肉	133	52	166
	豚肉	235	125	186
	鶏肉	190	123	172
鶏卵	264	253	250	247
砂糖	259	87	255	84
油脂	291	77	281	77
魚介類	1,111	516	1,104	699
海藻類	21	14	20	14
きのこ類	50	39	53	41

### (3) EFの将来変化

図-5に、2015年におけるわが国食料消費のEF推計結果を示す。なお、2015年においても、国外において食料生産用集水域面積が農地・牧草地、二酸化炭素吸収地、淡水域の合計面積を超え、国内では下回る結果は変化していない。2015年には、表-6に示すような国内産畜産物・水産物消費の増加により、国内・国外を合わせたEFは、2002年におけるEFと比較して約10%増加する。

消費量そのものが変わっていないにもかかわらず、EFが増加したのは、海洋・淡水域面積推計の仮定として、国内産・輸入品それぞれの水産物生産の品目構成を固定したためで、国内産・輸入品の生産品目の違いが影響している。図-4と比較すると、水産物の国内生産目標を達成した場合、海洋・淡水域への効果を中心に、EFの国内へのシフトが起こっている。2002年から2015年にかけて、EFの国外依存度は38%に、海洋・淡水域を除けば80%に低下する。

「望ましい食料消費の姿」のシナリオではEFが増加する。このシナリオは努力目標としての性格が強いものの、持続可能な消費に近づけるため、灌漑水等の資源利用の効率化や、持続可能な貿易構造、食料消費スタイルへの転換等が求められると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、仮想水投入を考慮したエコロジカル・フットプリント指標を提案し、仮想水の概念を同指標に取り込むための手法を検討した。さらに、提案した手法を日本国内の食料消費に適用し、将来シナリオを含む評価を行った。その結果、以下の知見を得た。

①仮想水投入は集水域面積に換算し、これを他の土地利用と比較し、より広面積の値を採用する方法をとった。面積当たりの降水量の多いわが国では、国内生産分に食料生産用集水域が適用されないのに対し、国

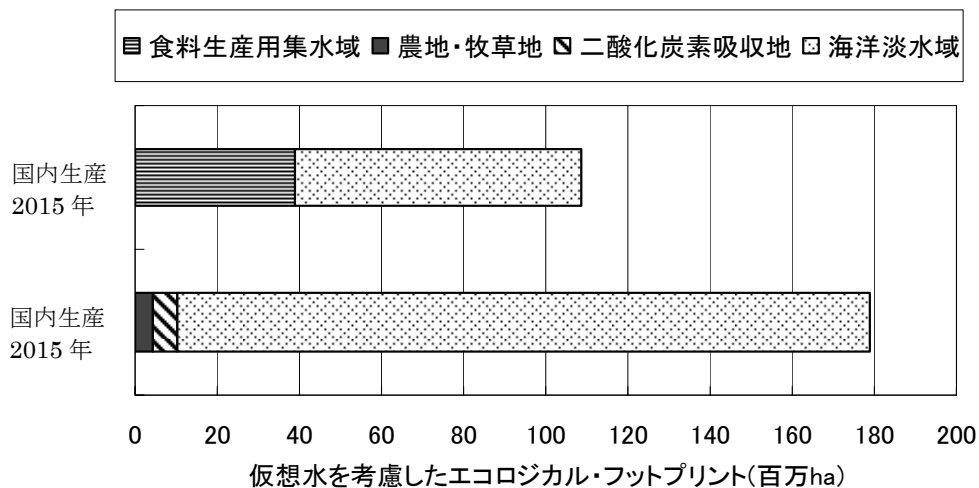


図-5 将来シナリオにおけるEF推計結果

外生産分では適用され、生産国の水資源状況や仮想水需要が反映された結果となった。

②わが国の食料消費によるエコロジカル・フットプリント(EF)は、国土面積の約7倍となり、海洋・淡水域を除いても約1.5倍程度である。また、EFのうち51%を国外に依存している。

③将来の食料需給目標に基づく将来シナリオでは、2015年に2002年比でEFは10%増加するが、国外依存分は減少する。

今後の課題としては、仮想水を考慮したエコロジカル・フットプリント指標の推計手法の確立が挙げられる。具体的には、土地カテゴリ別の用途の重複に関するより詳細な検討、仮想水の評価と整合的な等価ファクタの取り扱いなど、従来のエコロジカル・フットプリント指標を拡張しながらも信頼性と簡潔性を有する指標として確立した手法の提案を行う必要があるだろう。

#### 参考文献

- 1) WWF: Living planet Report 2008, 2008.
- 2) 富士総合研究所: 自然界の物質循環への負荷の少ない社会を目指した資源消費水準のあり方検討調査報告書, 2004.
- 3) 和田喜彦: 「エコロジカル・フットプリント」分析の考え方と日本への適用結果, 産業と環境, Vol.12, pp58-63, 1995.

- 4) 犬塚俊之, 新田友子, 花崎直太, 鼎信次郎, 沖大幹: 水の供給源に着目した日本における仮想的な水輸入の内訳, 水工学論文集CD-ROM, Vol. 52, ROMBUNNO.62, 2008.
- 5) 豊田知世, 金子慎治, XIN Zhou, 井村秀文: 中国農業の土地生産性変化とエコロジカルフットプリント, 環境システム論文集, Vol.34, pp487-496, 2006.
- 6) 伊坪徳宏・田原聖隆・成田暢彦: LCA概論, pp1-27, 2007.
- 7) 農林水産省: 食料需給表, 2005.
- 8) 農林水産省: 海面漁業生産統計調査, 2005.
- 9) 財務省: 貿易統計, 2005.
- 10) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会: 増補五訂日本食品標準成分表, 2005.
- 11) 農林水産省: 作物統計, 2005.
- 12) FAO: FAOSTAT.
- 13) 日本建築学会: 建物のLCA指針, 2003.
- 14) 海上保安庁: 距離表, 2003.
- 15) 日本エネルギー経済研究所計量分析部: エネルギー・経済統計要覧, 2002.
- 16) 沖大幹: ヴァーチャルウォーター(仮想水)現状と課題, 環境管理, Vol.40, No3, 2004.
- 17) FAO: AQUASTAT.
- 18) 農林水産省: 食料・農業・農村基本計画, 2000.

## ECOLOGICAL FOOTPRINT EVALUATION OF JAPANESE DOMESTIC FOOD CONSUMPTION CONSIDERING VIRTUAL WATER INPUT

Naoki YOSHIKAWA, Yuki OSHIKAWA, Koji AMANO and Koji SHIMADA

Ecological footprint(EF) is widely used for evaluation of sustainability of human activities because of its comprehensiveness and understandability. However, conventional EF lacks some important environmental load; for example, water resource use in food production. This study proposes an ecological footprint indicator which considers virtual water input and evaluates the case of Japanese domestic food consumption. Virtual water input is converted to EF by coefficient of scarcity of water resource relative to its land area in each country. EF of virtual water can duplicate on other land category other than fishing ground.

As the results, Ecological footprint of Japanese domestic food consumption is about 7 times of Japanese land area, and 1.5 times other than fishing ground. EF of virtual water exceed other land category in the footprint abroad, otherwise is below in domestic footprint. The future EF of Japanese food consumption could increase than present and reduce its dependence abroad if future “desirable” scenario that food self-sufficiency ratio will improve in 2015.