

◆ 投稿論文 ◆

エコロジカル・フットプリント指標による 日本の米消費の持続可能性の評価

車 競 飛 (京都大学大学院)

1. はじめに

日本は幅広い経済関係の強化を目指して、貿易や投資の自由化・円滑化を進めるため、すでに16か国や複数の地域グループと自由貿易協定(FTA)や経済連携協定(EPA)を締結している。しかし、農業分野の自由化は、限定的である。とりわけ、日本人の主食となる米は、最も重要な商品として、政府の補助金と関税の壁により、国際競争から強く保護されている。これらの農業を保護する政策は、農家の収入への支援と食料安全保障の達成を目指している。しかしながら、産業構造がすでに第二次産業と第三次産業に進んでいる日本は、小規模の農業経営形態と高い人件費などにより農産物の内外価格差が大きくなっている。そのため、リカードの比較優位仮説を根拠とし、農産物の市場を開放し、国際分業と貿易によって、経済の効率性を実現するという見解が見られるようになった。確かに、現実において、ある地域は高い消費水準を維持するために、貿易によって他の地域から生態学的な生産力(生態系サービス)を持ち込んで利用することが少なくない¹⁾。しかし、地球規模で考えると、すべての国が生態系サービスの純輸入国になれるわけではない。すなわち、他国の生態系サービスに依存しつつ、すべての国が先進諸国のように経済成長を続けようとしても、生態学的に不可能である。しかし、生態系サービスは通常の市場価格でほとんど反映できないため、貿易と国際分業に関する政策を検討するときに軽視されることが多い。それ故、経済の合理性だけでなく、農産物の貿易や消費がもたらす生態系サービスの移転という観点から見た貿易政策

の意思決定を巡る問題の考察が必要と筆者は考える。

近代農法と資源問題の関連性の研究は、1970年代前半から開始され、1973年に『Science』に掲載されたPimentelの「Food Production and the Energy Crisis」が代表的である。この論文は、ライフサイクルアセスメント(以下LCA)を用いて、アメリカにおいて40年代から急速発展した近代農法の化石燃料への依存について論じた。また、オイル・ショックの影響を受け、70年代から80年代において、LCA手法を利用し、Green(1987)、Pimentel(1973)、Fluck(1992a, 1992b)などは農業生産に関する農薬・肥料・農用機具など農業資材及び農業労働力などのエネルギー投入について考察を行った。戦後の日本は、農業技術の導入によって生産性向上を遂げたが、他の先進国同様に、農業の化石燃料に対する依存度が高い。こうした日本の農業について宇田川(1976)は近代農法を導入した日本稲作のエネルギー投入の実態を論じた。これらの研究は、現在の農業持続可能性に関する研究の礎石となっている。しかし、これらの研究は、農業生産を工業のような産業として扱い、エネルギーの考察を中心としており、農業生産に必要な自然資材が考慮されていない。自然資材と非自然資材といった生態系サービスを考察するには、80年代後半から、ReesとWackernagelが開発したエコロジカル・フットプリント(Ecological Footprint)という持続可能性を表す指標があげられる。エコロジカル・フットプリント分析は、経済活動で使用した物質とエネルギーを生産するための仮想の土地面積に変換する手法である。自然資材と非自然資材との投入を含んだ農業生産に対して、適切な分析

手法である。この手法を農業分野において応用した Wada (1993) は、露天栽培と温室栽培のトマト生産、Niccolucci et al. (2008) は有機ワインと通常のワイン生産など、新技術と伝統技術の持続可能性の比較を行った。だが、これらの研究の対象は、いずれも地域限定的であるため、国際貿易による長距離の輸送に伴う環境負荷について触れていない。また、日本は農業の衰退による耕作放棄地は、農産物自由化の推進によってさらに深刻になる可能性があるにもかかわらず、管見の限りでは、エコロジカル・フットプリントの分析において耕作放棄地の増減を考慮した研究は存在しない。

そこで、本研究はエコロジカル・フットプリント理論を実証的な研究に応用するため、現存のエコロジカル・フットプリント計算に加え、「耕作放棄地の変化」という要素を追加し、補正を加えた手法で持続性の評価を試みた。本研究の目的は、以下の2つである。
①エコロジカル・フットプリント分析を利用し、日本において、米が輸入または国産の場合、生態系に与えた負荷の比較を通して、米消費に関する持続可能性を評価することである。
②農産物貿易の拡大に伴い、食料輸入国における農地の転用または放棄の発生に関しては、どのようにエコロジカル・フットプリント指標に反映するかを検討することである。

2. 方法

2.1. エコロジカル・フットプリント

エコロジカル・フットプリント分析とは、ある一定の人口あるいは経済活動を維持するための資源消費量を産出す自然界の生産力、および廃棄物処理必要とされる自然界の処理吸収能力を算定し、生産可能な「土地面積」に置き換えて表す計算ツールである (Wackernagel M., Rees W. E., 1996)。換言すれば、ある地域あるいは国の経済活動または、そこに住む人々の生活を無理なく永続的に支えていくために必要となる生産可能な土

地 (海外の土地と水域を含む) の広さを測定し、ヘクタールなどの面積で表現する分析手法である。エコロジカル・フットプリントは、以下の土地カテゴリーごとに面積を計算し加算する。

表1 エコロジカル・フットプリントの土地カテゴリー²⁾

耕作地	穀物、飼料、イグサ、棉花など生産のために必要とされる土地。
牧草地	酪農製品、食肉製品、羊毛などの生産のために必要とされる土地。
森林地	家具、建材や紙製品などの生産のために必要とされる優良森林地。
エネルギー関連用地	化石燃料燃焼から排出される二酸化炭素を吸収するための土地、または、バイオマス代替燃料を生産するための土地。
生産能力阻害地	道路、建物、廃棄物最終処分場など土地の生産ポテンシャルが阻害されている土地。
漁場	魚や海藻などを生み出す海洋、河川や湖沼等の水域。

出所 筆者作成

エコロジカル・フットプリント分析を利用し、生態系サービス供給能力と需要との比較を通して、人類の経済活動が生態系に対する持続可能性を判定することができる。また、ミクロ的な視点から見ると、同じ経済活動であっても、システムによる生態系サービスに対する需要が異なる。エコロジカル・フットプリント指標を利用し、より持続可能な経済活動のパターンを選別することも可能である。

エコロジカル・フットプリント指標を用いた生態系サービスの需給分析は、保守的な傾向がある。すなわち、エコロジカル・フットプリントの値は厳格にこの面積ではなく、最小限でも、これだけの面積が必要と

なっていると捉えることが適切だとされている。なぜなら、需要サイドを計算するとき、計算根拠(例えば換算係数)が複数存在する場合は、エコロジカル・フットプリント面積が小さくなるような計算根拠を選択することを原則としている。一方、供給サイドのバイオキャパシティについては、大きな数値になるような計算根拠を選択する傾向がある。こうすることによって、生態系サービス需給のギャップ、すなわち、生態学的赤字の幅は、より小さくなる。

2.2. システム設定および限界

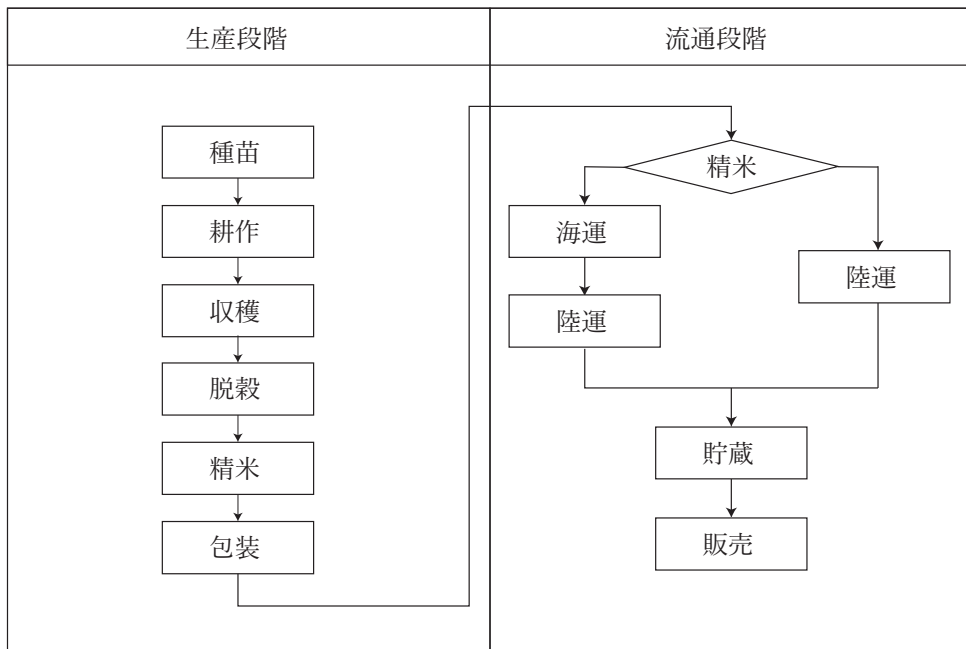
本研究において、米の消費のプロセスは、図1に示したように、生産段階と流通段階に分けられている。いずれの段階においてもいくつものプロセスを含んでいる(四角)。菱形は分析対象となる1トンの精白米である。

比較対象を選定するためには、世界各国の米の輸出能力と日本の国別の米の輸入量を考察することが必要である。現在、日本の米については、国内価格と国際価格との間

に大きな格差が存在するため、WTO 農業協定に認められている措置を講ずることにより、日本政府は国家管理の下に Minimum Access (MA) 米として輸入することにした。MA 輸入米は「一般 MA 米」と「SBS 米」(Simultaneous-Buy-and-Sell) とに分けられ、一般米 MA の輸入目的が、「加工用、政府援助用、飼料用」となる。加工用は食用民需に結び付いているが、それ以外は食用ではない。他方、SBS 米の多くは上質米として輸入され、食用として消費される。日本の米消費の中で大きな割合を占めており、いわゆる「主食用」である。本論文では、主食用の米である SBS 米の輸入量によって、比較対象を選んだ。

農林水産省の統計により、2011年の輸入実績で一般 MA 米が年間約60万トン、SBS 米が10万トンである。そのうち、アメリカ、オーストラリア、中国、タイの4つの国から SBS 米の輸入総量の90%以上を占めているため、分析対象の候補として検討した。ただ、国連食糧農業機関(以下 FAO)の統計により、

図1 米の消費に関するプロセス



出所 筆者作成

世界の米輸出量は、中国は49万トン、オーストラリアは27万トンであるのに対し、タイは1067万トンでアメリカは316万トンとなっている。つまり、中国やオーストラリアは、米を大量に輸出することが困難だと考えられる。また、アメリカ、オーストラリア、中国からは主に短粒種を輸入している一方、タイからは長粒種を輸入している。さらに、アメリカでは短粒種の米は、ほとんどカリフォルニア州で生産されている。そこで、本研究は日本産米とアメリカのカリフォルニア産米を分析対象とした。

日本の国産米は、生産量と生産コストを農林水産省の統計データの全国平均値を使用した。アメリカについては、アメリカ合衆国農務省（以下 USDA）の統計データを使用した。生産に関する資材・エネルギー投入量については、米に関する LCA 研究を補完的に利用し、主に農林水産省と USDA などでの公表データを使用している。また、エネルギー原単位・集約度は LCA に関する研究のデータを使用した。同一項目に複数のデータソースが存在する場合は、前節の基準でデータを選択する。

2.3. 計算方法

本研究において、米の消費のエコロジカル・フットプリントを、「1トンの食用米を生産するために1年間に投入され、かつ消費地までの輸送のために投入された物質/エネルギーを生産するための土地面積と、米を生産するために占められた耕地面積の合計」と定義した。通常、エコロジカル・フットプリント計算は、耕作地（稲作田）、牧草地、漁場、森林地、エネルギー関連用地（二酸化炭素吸収とバイオエネルギー生産）と生産力阻害地（建物など）の面積の合計である。本研究では、単純化のため、人間の労働のために消費されたエネルギーは、すべて耕作地から提供されたと仮定（ただ食物を提供する牧草地や漁場は除外）している。なお、牧草地、漁場と森林地は米の消費に関係が少ないと考え、今回は検討していない。

生産段階におけるエコロジカル・フット

プリントの計算方法は、定義により①米生産用の稲作田および労働者の食料を提供する「耕作地」、②農業や機械を生産ための間接エネルギーと機械を運転するための直接エネルギーに関する「エネルギー関連用地」と③灌漑用人工河川の「生産能力阻害地」に分けて試算した。

輸送段階に関しては、①輸送に必要となるエネルギーを提供する「エネルギー関連用地」と②倉庫などの「生産能力阻害地」に分けて計算した。

耕作地の計算は定義の通り、米を生産するために実際に使用される面積と労働者の食料を提供するための土地面積の合計である。

エネルギー関連用地の計算の手順は、まず、投入物質の質量を測定または算出する。次に、投入物質の質量にエネルギー原単位を乗じ、投入物質を生産するために消費されたエネルギー量を算出する。最後に、エネルギー量から土地面積へ換算する。エネルギー量から土地面積への換算率については、非再生資源を生産するために使われた化石燃料をエタノールなどのバイオマスで代替させるために必要となる土地面積として表した。世界平均的な1haの森林が1年間でバイオマスエネルギーを固定する量に80GJとして計算した（化石燃料を燃焼させてエネルギーを得るために排出される二酸化炭素を世界の森林を吸収させる場合に必要となる土地面積を想定した場合でも換算率はさほど変わらない）。

また、米を一時保存するための倉庫および灌漑の人工河川の土地面積は、生産能力阻害地として計上した。

エコロジカル・フットプリントの推計は、計算面積（calculated area method）と測定面積（measured area method）の2つの方法があり³⁾、本研究は計算面積法を使用した。国際比較をする場合、各国の土地の生産性の違いをなくし、そして、異なった土地カテゴリーの加算できるようにすることが必要である。まず、ある土地タイプの各国における固有の土地生産性を世界平均生産性に換算するための係数として、収量係数（Yield Factor）が考案された。さらに、ある国においては、

耕作地、牧草地など複数の土地タイプがある。たとえ耕作地と牧草地の生産性を世界平均値に換算したとしても、耕作地の面積と牧草地の面積を加算することは不可能である。だが、この問題は、等価係数 (Equivalence Factor) の利用によって解消できる。生産性の高い土地カテゴリーほど係数は高く、土地生産性が低い土地は小さい。すなわち、等価係数は、土地生産性の高さに応じてウェイト付けされた土地面積の合計値を計算するための係数である。等価係数は、世界共通係数であり、Global Footprint Network によって、毎年土地カテゴリー別に更新され、公表される。計算面積法を通して、土地生産性の統一を確保し、異なった土地の面積を統一した単位グローバル・ヘクタール (gha) にすることが可能である。

グローバル・ヘクタールとは、「地球上に存在する生産性を有する土地・水域の総計の世界的平均生産性を有する仮想的な土地1ヘクタール」(Galli, A., et al, 2007) を意味する。通常的面積単位のヘクタール (ha) をグローバル・ヘクタール (gha) への変換は、以下の式を使用する。

$$EF_i = P_i / Y_i \times YF_i \times EQF_i \quad (1)$$

なお、 P_i はある物質の量 (米の収穫量、二酸化炭素の排出量など) と定義し、 Y_i は選定された土地の単位面積収穫 (または排出、吸収) 量である。 YF_i は収量係数である。 EQF_i は異なる土地面積を等価面積に変換する時に必要な等価係数であり、2007年の EQF_i データは以下の通りである。

表2 等価係数 (2007年)

土地タイプ	EQF (gha/ha)
耕作地	2.51
森林地	1.26
牧草地	0.46
漁場	0.37
生産能力阻害地	2.51

出所 Ewing, B., et al, (2010) より引用

YF_i は収量係数と定義し、計算方法は以下

の通りである。

$$YF_i = Y_i / Y_w \quad (2)$$

Y_w は単位面積のあるタイプの土地の収穫 (または排出、吸収) 量と定義された。(2) 式を (1) 式に代入し、以下の (3) 式になる。

$$EF_i = P_i / Y_w \times EQF_i \quad (3)$$

このように、収穫量、世界平均単位収穫量と等価係数を使用し、 EF_i の単位はグローバルヘクタール (gha) に変換できる。

3. データ処理

3.1. 生産段階

日本とアメリカにおける、米の生産性はそれぞれ、5,208kg/ha・year と 7,520kg/ha・year である (農林水産省・USDA データベース)。

生産段階における投入エネルギーは直接エネルギーと間接エネルギーに分けられる。直接エネルギーとは農業機械などに使用される化石燃料及び電力である。間接投入エネルギーとは生産資材として利用する肥料、農薬、農用器具などの生産に投入されたエネルギーおよび労働力である。生産段階において、エネルギー投入量とエネルギー原単位は表3に示している。生産段階における物質とエネルギーの投入量について、日本については農業機械学会 (1994) の調査報告書と農林水産省の統計データを利用し、アメリカは、USDA の調査報告書 (Livezey, J., Foreman L., 2004) のデータを利用した。

日本の稲作における消費された化石燃料の種類はガソリン、軽油、灯油、混合油である。一方、アメリカはガソリン、軽油とLPGを使用している。化石燃料のエネルギー原単位は、日本LPガス協会による単位発熱量を使用した。

肥料を分類すると無機質肥料 (化学合成肥料) と有機質肥料に分かれる。そして無機質肥料は単肥 (窒素、リン酸、カリのうち一つの成分を含んだ肥料) と複合肥料 (窒素、リン酸、カリのうち2成分以上を含んだ肥料) とに分かれる。化学肥料は自然界に存在する

表3 エネルギー原単位と1トンの食用米当たり物質、エネルギー投入量

項目	単位		単位	日本	アメリカ
ガソリン	MJ/L	34.60	L	15.17	3.92
軽油	MJ/L	37.70	L	26.11	46.16
灯油	MJ/L	36.70	L	15.55	-
混合油	MJ/L	38.20	L	1.34	-
LPG	MJ/L	50.80	L	-	2.13
天然ガス	MJ/L	43.50	m ³	-	56.41
電気	MJ/kWh	9.40	KWh	38.17	43.23
除草剤	MJ/kg	207.95	kg	3.71	2.03
殺虫剤	MJ/kg	136.91	kg	1.61	0.01
殺菌剤	MJ/kg	173.16	kg	0.88	0.53
殺虫殺菌剤	MJ/kg	155.04	kg	2.00	-
窒素	MJ/kg	66.99	kg	0.66	18.48
リン	MJ/kg	18.66	kg	1.80	6.86
カリ	MJ/kg	15.14	kg	0.81	5.07
複合肥料	MJ/kg	11.94	kg	91.59	-
機械	MJ/kg	79.55	kg	-	5.05
機械	MJ/円	0.13	円	59124.04	-
灌漑	MJ/cm	165.410	cm	-	33.24
労力	MJ/人・h	13.000	h	46.95	3.22
種苗	MJ/kg	17.954	kg	5.76	24.89
精米	MJ/kg	0.09	kg	1000.00	1000.00
包装	MJ/個	0.000099	個	100.00	100.00

出所 筆者作成

リン鉱石やカリ鉱石などから作られたものである。現在、日本とアメリカの稲作は、主に化学合成の単肥と複合肥料を使用している。肥料の原単位は、小林・佐合（2001）と Pimentel（2009）の研究を参考して計算したものである。

農薬製造業についても、化学肥料と同様に、LCA手法によって求められる。しかし、日本の農薬メーカーが、農薬成分のほとんど海外に依存しているため、日本で行われる工程は、製剤に限られていると考えられる。このような理由から、アメリカと同じように、Green（1987）が推定したエネルギー原単位を使用した。

農業機械など耐久財については、アメリカ

の場合、まず、農業機械などの質量を統計し、次に、農業機械の質量とエネルギー原単位（Pimentel D. 2009）を使って、農業機械を生産するために消費されたエネルギー量を算出した。日本の場合では、減価償却期間（法定7年）が考えられ、毎年の追加的な固定費用と修理費用を計上し、エネルギー集中度（木村・杉本1993）をかける。

再生可能な資源である種苗と人間の労働力に関するエネルギー原単位は Pimentel（2009）と Fluck（1992b）のデータを利用した。

3.2. 流通段階

流通段階において、輸送方式はトラック（陸上）とコンテナ船（海上）を含んでいる。日

本において、農家から倉庫・精米所まで、倉庫・精米所からスーパーまでおよびスーパーから消費者の家までの平均距離は、それぞれ300km, 100kmと5kmと仮定した⁴⁾。すなわち、日本産米を日本で消費する場合、海運はゼロとし、陸上輸送の距離は405kmを仮定した。一方、アメリカ米を輸入し、日本で消費する場合、海運距離は8,388km(サンフランシスコ港-横浜間)である⁵⁾。

陸上輸送について、アメリカ国内の移動距離として、カリフォルニア州米生産量上位5郡⁶⁾の郡庁所在地からサンフランシスコ港までの平均距離(211.4km)⁷⁾と日本国内における陸上輸送の距離として倉庫から消費者の家までの距離(105km)⁸⁾を仮定し、316.4kmとした⁹⁾。

エネルギー原単位については、Fluck(1992a)のデータを使用した。陸上輸送のエネルギー原単位は1.8MJ/km・tとする、つまり、1トンの荷物を1kmの距離に運ぶには1.8MJのエネルギーが必要である。一方、海上輸送のエネルギー原単位が0.3MJ/km・tを使用した。

米を一時保存するための倉庫および灌漑の

人工河川の土地面積は、生産能力阻害地として計上したが、耕作地とエネルギー関連用地と比較すると、1ha以下のわずかな面積になった¹⁰⁾。合計面積は0.13ヘクタールである。

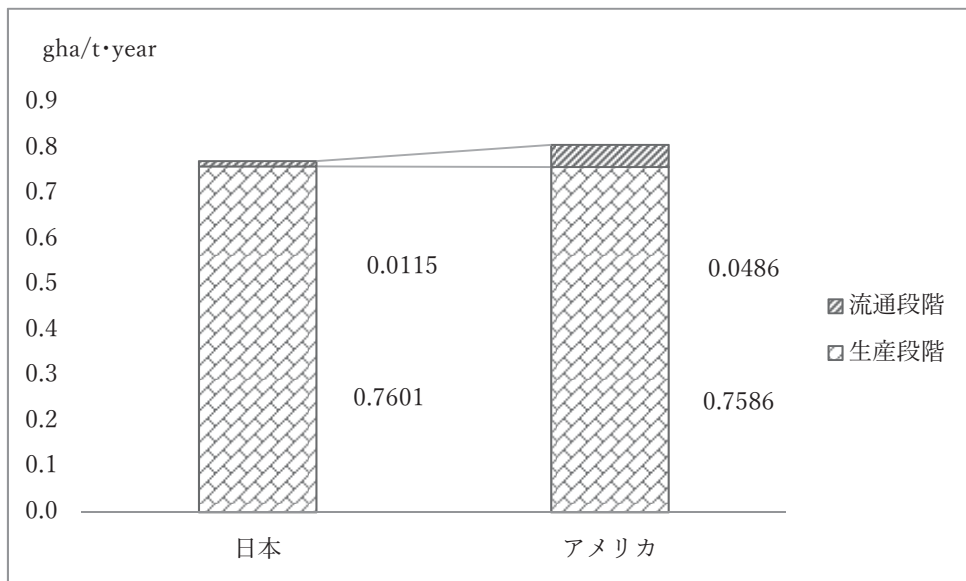
4. 計算結果

4.1. エネルギー投入量およびエコロジカル・フットプリントの比較

1トン米を生産するために生産段階におけるエネルギー投入量については、アメリカの場合、13,168.8MJ、日本の場合は、13,266.9MJと判明した。

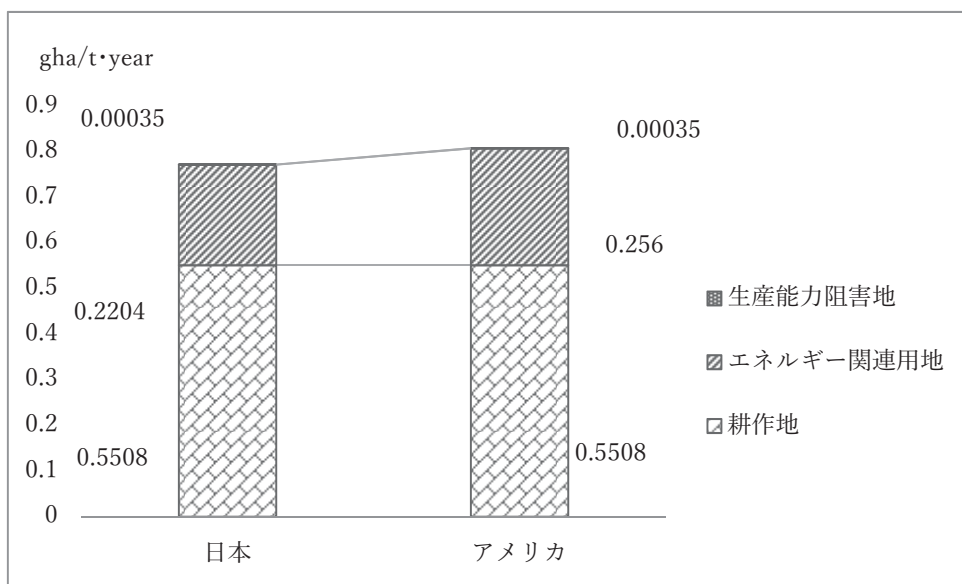
日米の農業のエネルギー投入の50%以上は、機械の製造とそれを動かすために使用された化石燃料が占めている。アメリカで生産した米が日本で消費された場合、海上輸送と陸上輸送のためのエネルギーがエネルギー投入総量のそれぞれ18.9%(3,085.9MJ)を占めている一方、日本米の流通段階におけるエネルギー消費の割合はわずかの5.2%(729MJ)である。結果、日本産とアメリカ産1トンの米が日本に消費される場合、それぞれ

図2 段階別のエコロジカル・フットプリント



出所 筆者作成

図3 土地カテゴリー別のエコロジカル・フットプリント



出所 筆者作成

1,3995.9MJ (日本), 1,6254.7MJ のエネルギーの投入が必要である。

1 トンの米を消費することに伴うエコロジカル・フットプリントを計算すると、日本における生産段階は 0.7601gha、アメリカの場合は 0.7586gha の土地が必要となった。段階別のエコロジカル・フットプリントの内訳(図2)を見ると、流通段階のエコロジカル・フットプリントについては、日本が 0.0115gha、アメリカから輸入する場合は、0.0486gha の土地面積になった。合計では、0.7716 (日本)、0.8072 (アメリカ) gha である。

生産段階と流通段階を合計したエコロジカル・フットプリントの土地カテゴリー構成(図3)から見ると、日本での生産し消費する場合、0.7716gha のうち、「耕作地」の面積は 0.5508gha、「エネルギー関連用地」は 0.2204gha、「生産力阻害地」は 0.00035gha である。アメリカで生産すし、日本で消費する場合、0.8072gha のうち、「耕作地」の面積が 0.5508gha、「エネルギー関連用地」が 0.2560gha、「生産力阻害地」が 0.00035gha である。

4.2. 結果の説明

アメリカの稲作の特徴は、広大な敷地に大型の機械を導入し、生産力がずば抜けて高きことである。その大規模な稲作田では、飛行機までを使って空から種を播いている。稲作田が広いので、機械を効率的に利用して作業をすることができる。水稻の生産は多量の水が必要である。カリフォルニア州は、多くの地域が雨期と乾期との降水量の差が大きい地中海性気候に含まれ、また、南部の内陸部は乾燥地帯に含まれる。カリフォルニア州の雨期は冬期であり、夏期には降水が期待できないのである。このため、冬期にダムに水を貯めておき、夏期の水利用に備える必要がある。また、比較的降水量が多い北部の山地は、稲作に適さない土地が多く、北部から南部までおよそ 800km にわたり、水を移動させる必要がある。そのため、多くのエネルギーを投入し、灌漑用人工河川が広い土地を占めている。一方、日本の稲作は、中小規模経営という特徴がある。60年代から70年代にかけて、農業の機械化が急速に進んだが、経営規模により農業機械の使用効率に差が生じている。そのため、日本は単位収穫量当たりの機械へ

のエネルギー投入量がアメリカより多い。また、日本における農薬の使用量は、世界各国の中でも抜きん出て多いと言われている。農薬に関するエネルギー投入量はアメリカより多いのである。

日本における稲作の生産性はアメリカより低い。エコロジカル・フットプリントの土地カテゴリーの耕作地はほぼ一緒である。なぜなら、エコロジカル・フットプリントの国際比較を公平に行うには、土地生産性の違いをなくす必要があるため、収量係数を採用したからである。つまり、日本、アメリカは同じ重量の米を生産するために占められた耕作地のエコロジカル・フットプリント(グローバル・ヘクタール)は同じである。

また、エコロジカル・フットプリントは、いくつかのタイプの土地の面積を積み上げて得られたものである。面積単位を統一するときに、等価係数を使用した。耕作地の生産性は

エネルギー関連用地より高いため、等価係数を2.51と1.26を使用した。つまり、1ヘクタールの耕作地のエコロジカル・フットプリントは、2.51ghaであり、1ヘクタールのエネルギー関連用地は1.26ghaである。エコロジカル・フットプリント分析の内訳を見ると、主要な土地タイプは、耕作地(アメリカ68.2%、日本71.4%)、エネルギー関連用地(アメリカ31.7%、日本28.6%)である。稲作の過程で、倉庫、灌漑用人工河川などが生産阻害地に含まれるが、耕作地とエネルギー関連用地と比較すると、わずかな面積になった。

4.3. 日本とアメリカにおける米生産費の格差

続いて、日本とアメリカにおける米生産のコストを比較していく。2013年～2015年、60kgあたり生産費の内訳を表4に示している(1ドル=121.03円、2015年ベース)。なお、データは農林水産省の『平成27年米及び麦

表4 60kg 当たり生産費の比較 (円)

項目	2013		2014		2015	
	アメリカ	日本	アメリカ	日本	アメリカ	日本
種苗費	131.30	421.00	168.89	421.00	201.15	426.00
肥料費	215.99	1079.00	231.19	1087.00	246.43	1075.00
農業薬剤費	159.34	859.00	171.36	870.00	191.36	882.00
生産管理費	102.14	48.00	103.63	44.00	127.84	48.00
光熱動力費	165.03	545.00	187.11	582.00	139.22	504.00
修繕費及び購入補充費	70.40	1139.00	81.41	1164.00	93.47	1131.00
土地改良及び水利費	24.23	504.00	20.11	508.00	26.01	516.00
その他材料費	68.60	206.00	62.70	207.00	48.44	224.00
利子	0.42	643.00	0.31	641.00	0.87	631.00
直接労働費	41.74	3869.00	45.78	3826.00	55.10	3812.00
間接労働費	103.65	209.00	113.05	209.00	136.56	197.00
農機具費(償却)	186.16	2535.00	217.86	2538.00	256.69	2676.00
土地代	246.67	1796.00	256.38	1743.00	308.81	1743.00
税金及び保険料	24.91	274.00	28.09	263.00	38.26	269.00
その他諸費用	40.78	1372.00	42.84	1436.00	50.14	1407.00
副産物価額	-	270.00	-	123.00	-	151.00
全算入生産費	1581.36	15229.00	1730.72	15416.00	1920.35	15390.00

出所 筆者作成

類の生産費』と USDA のデータベース（生産費）を参照した。

表4からわかるように、為替レートの変動にも関わらず、日本産米の生産費はアメリカ産米の8～10倍という高い水準にある。特に、日本で稲作労働費は25～28倍と、アメリカの稲作よりかなり高い。生産費の格差の主な要因については、稲作の方式による労働費の格差および、稲作の規模による農業機械費の格差などが考えられる。

4.4. シナリオ：日本市場における米が外国産米に代替される場合

本節は、日本の米市場が完全に開放された場合に、エコロジカル・フットプリント計算にどのような影響を与えるかを検討する。前節により、米の生産費の面から見れば、日本産米の競争力は、アメリカ産米より劣っており、仮に米の関税が経済連携協定によりゼロになると、海外からの米輸入は大幅に拡大することが経済的合理である。これに対して、日本の米生産費は、国際市場における米より大幅に上回っており、日本が米市場を開放することによる米の国際価格の急激な上昇はあまり想定されない一方、国内の米価格が大幅に下落することは必至であろう。国内の農村地域における経済不安は少なからず発生し、従来からも年々増加していた耕作放棄地が更に広がることが想定される。日本の農家が米生産を100%停止すると仮定した場合、稲作田の一部は畑や果樹園に転換される一方、一部の稲作田は耕作放棄地または宅地などになることが予想される。耕作放棄地または宅地になる土地は、生態学的生産力を喪失する。そこで、どの程度の割合の稲作田が生態学的生産力を喪失するかを予測することが必要である。以下の方法で計算を行った。

2016年度において、農林水産省は全国の耕地面積の現状を把握した。この調査では、稲作田の減少の原因は4つのタイプに分類された：①自然災害による減少、②宅地などへの転換、③耕作放棄地への転換、④田畑転換。①については、人為的要因ではないので除き、今回の計算では、②～④の要因のみを含める

こととした。表5に平成16年～25年までの10年間の稲作田の減少面積の累計と要因別の土地面積の割合を示す。

表5 平成19年～28年稲作田の減少要因別面積の推移 全国推計値

	累計面積	割合
②宅地など	35180	39.5%
③耕作放棄	34400	38.7%
④田畑転換	19416	21.8%
合計		100%

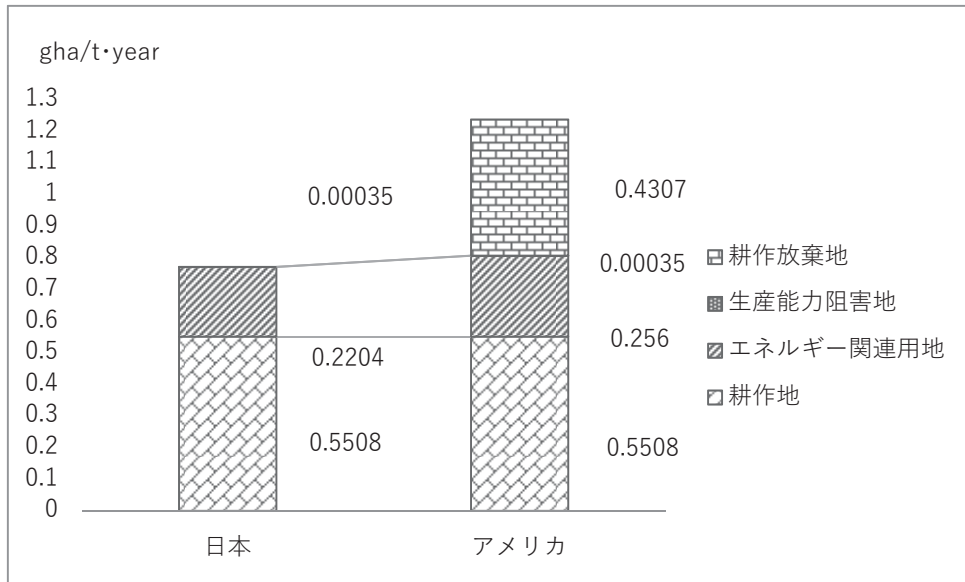
出所 農林水産省（2016）『平成28年耕地面積』をもとに筆者作成

減少した稲作田のうち、現状で耕作できるか否か、二つのタイプに分けられる。耕作できない場合は生産能力を喪失する。このことは、供給面のバイオキャパシティが縮小することでもある。本論文では、表5の②と③を合わせて、78.2%の面積が「生産能力を喪失した」と解釈する。

日本では、1トン米を生産するために0.5508ghaの「耕地」が必要である。もし、日本国内の米市場が外国産の米に100%占められると仮定した場合、日本の農家は米生産を停止し、稲作田のうち、78.2%に相当する0.4307ghaの土地の生態学的生産力が喪失することが考えられる。つまり、1トンの米を輸入し消費すると、0.4307ghaの土地が生産能力阻害地になってしまう計算になる。すなわち、日本の米市場の自由化が進んで、米生産をすべて停止し、アメリカ産にすべて譲り渡す場合、エコロジカル・フットプリントは、日本産米のみで日本の総需要を満たした場合の0.7716ghaのほかに、耕作放棄地の0.4307ghaを加えなければならない。（図4）

このようなシナリオにおいて、日本の米消費に関するエコロジカル・フットプリントは現在の1.5倍になってしまう。もちろん、この数字は極端な場合を示している。現実には、日本の米生産がゼロになることはあり得ないかもしれない。しかし以上の分析結果は、自由貿易を推進し、日本の米生産への依存度が

図4 食用米がアメリカ産米に代替される場合



出所 筆者作成

低下された場合、エコロジカル・フットプリントが増大し、生態学的な持続可能性が低くなることが考えられる。

5. おわりに

本論文は、エコロジカル・フットプリント指標を使用し、日本における米の消費という経済活動の持続可能性を評価した。生産段階だけ見れば、近代農法が普及した日本とアメリカは、エコロジカル・フットプリント指標から、大きな差が見られない。また、米の国内市場の開放が限定的であるということを前提にした場合、生産段階と流通段階を統合して分析すると、日本産の米を日本で消費することは、アメリカ産の米を日本で消費する場合より持続的であることが明らかになった。少なくともエコロジカル・フットプリントの観点からは日本で生産された米を日本で消費することが合理的であると言えることが判明した。

一方、日本の米市場の自由化が進んで、安価かつ良質な海外産米が日本の国内市場を席

巻するような事態が発生した場合、日本の米生産を部分的に放棄せざるを得ない可能性がある。そうなれば、日本国内の「耕作地」の一部は生態学的な生産能力を損失してしまい、生態学的な持続可能性が一層低下することも懸念されるべきであろう。

注

- 1) 例えば、香港、スイスなどの先進国の貿易収支は黒字であるが、生態学的な収支はほとんど赤字である。
- 2) Wackernagel M., Rees W. E., (1996) pp107-137をもとに作成。
- 3) 計算面積法は実際の土地面積を測ること、単位はヘクタール (ha) である。測定面積法は、物質の消費 (排出) 量と変換係数などによって面積を計算すること、単位はグローバルヘクタール (gha) である。
- 4) Roy, P., et al. (2009), p. 53.
- 5) Searoutes の距離測定機能を利用した。
- 6) Glenn, Butte, Colusa, Sutter と Yuba である。
- 7) Google Map の距離測定機能を利用した。(Glenn 223km, Butte 244km, Colusa 192km, Sutter 200km, Yuba 198km)

- 8) Roy, P., et al. (2009), p. 53.
- 9) この仮定では港から倉庫までの輸送距離が含まれない。港から倉庫までの輸送距離をさらに加えるとすると、米国産の米消費の流通段階のエコロジカルフットプリントはさらに大きくなる。ただし、そもそも倉庫からスーパーまでの距離を国産米と同じ100kmと仮定することが過大である可能性もある。輸入米の倉庫はスーパーに近い可能性もあるからである。
- 10) 東広島物流「物流倉庫概要」によって、1,000トン米を保存するための低温倉庫を生産地と消費地に2つがあると仮定し、1つの面積は、約660m²である。 <<http://www.to-butsum.com/service/warehouse.html>> (2017/09/01 accessed)

参考文献

- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., . . . Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, 24, 518-533.
- Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., & Wackernagel, M. (2010). *Calculation methodology for the national footprint accounts*. Oakland: Global Footprint Network. Retrieved 9 1, 2017, from http://www.footprintnetwork.org/content/images/uploads/National_Footprint_Accounts_Method_Paper_2010.pdf
- FAO. (2017). *FAOSTAT*. Retrieved 09 01, 2017, from <http://www.fao.org/faostat/>
- Fluck, R. C. (1992a). Energy conservation in agricultural transportation. In *Energy in World Agriculture: Energy in Farm Production* (pp. 171-176). Elsevier, Amsterdam.
- Fluck, R. C. (1992b). Energy of human labor. In *Energy in World Agriculture: Energy in Farm Production* (pp. 31-37). Elsevier, Amsterdam.
- Geisseler, D., & Horwath, W. R. (2013). Rice Production in California.
- Google Map. (2017). Retrieved 09 01, 2017, from Google Map: <https://maps.google.co.jp/>
- Green, M. B. (1987). Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In *Energy in world agriculture* (Vol. 2, pp. 167-177).
- Livezey, J., & Foreman, L. (2004). Characteristics and production costs of US rice farms. USDA-ERS Research Paper.
- Nicolucci, V., Galli, A., Kitzes, J., Pulselli, R. M., Borsa, S., & Marchettini, N. (2008). Ecological footprint analysis applied to the production of two Italian wines. *Agriculture, ecosystems & environment*, 128 (3), 162-166.
- Pimentel, D. (2009). Energy inputs in food crop production in developing and developed nations. *Energies*, 2 (1), 1-24.
- Pimentel, D., Hurd, L., Bellotti, A., Forster, M., Oka, I., Sholes, O., & Whitman, R. (1973). Food production and the energy crisis. *Science*, 182 (4111), 443-449.
- Roy, P., Ijiri, T., Nei, D., Orikasa, T., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). Life cycle inventory (LCI) of different forms of rice consumed in households in Japan. *91* (1), 49-55.
- Searoutes. (2017). Retrieved 09 01, 2017, from Searoutes: <https://searoutes.com/>
- United States Department of Agriculture. *USDA/NASS*. Retrieved from <https://quickstats.nass.usda.gov/>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (和田喜彦監訳、池田真理訳『エコロジカル・フットプリント 地球環境持続のための実践プランニング・ツール』合同出版、2004年 ed.). New Society Publishers.
- Wada, Y. (1993). *The appropriated carrying capacity of tomato production: comparing the ecological footprints of hydroponic greenhouse and mechanized field operations*. University of British Columbia.
- 宇田川武俊 (1976) 「稲作栽培における投入エネルギーの推定」環境情報科学, 5, 73-79.
- 金子功 (1995) 「水田作における二酸化炭素量の低減技術とコストへの影響」、『環境保全型技術の

- 生産コスト』(ページ:46-68). 農業機械協会.
- 木村康二・杉本義行(1993)「農業生産における各投入要素のエネルギー原単位及びエネルギー集中度の推計」千葉大学園芸学部学術報告, 47, 247-254.
- 小林久・佐合隆一(2001)「窒素およびリン肥料の製造・流通段階のライフサイクルにわたるエネルギー消費量とCO₂排出量の試算」農業研究, 36(3), 141-151.
- 大臣官房統計部(2016)農林水産統計「平成28年耕地面積」. 農林水産省. 参照日:2017年9月1日, 参照先:<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/sakumotu/menseki/kouti/h28/>
- 日本LPガス協会「燃料の発熱量-CO₂排出係数の一覧表」参照日:2017年9月1日, 参照先:http://www.j-lpgas.gr.jp/nenten/data/co2_ichiran.pdf
- 農業機械学会(1994)「環境保全機能向上のための作業・作付体系:調査報告書」.
- 農林水産省(2015)「平成27年産米及び麦類の生産費」. 参照日:2017年9月1日, 参照先:<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001181483>
- 農林水産省(2016)農林水産統計『平成28年耕地面積』. 参照日:2017年9月1日, 参照先:<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/sakumotu/menseki/kouti/h28/>
- 農林水産省「輸入米に係るSBSの結果概要」. 参照日:2017年09月01日, 参照先:http://www.maff.go.jp/j/seisan/boueki/nyusatu/n_sbsrice/