

Carrying Capacityからみた自然生態系と人間活動の関係

Ecological Footprintによる中国農村の一考察

誌名	北海道大学農経論叢
ISSN	03855961
著者名	出村,克彦 高橋,義文 林,岳
発行元	北海道大学農学部農業経済学教室
巻/号	58集
巻号補足	
掲載ページ	p. 167-183
発行年月	2002年3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



Carrying Capacity からみた自然生態系と人間活動の関係

—Ecological Footprint による中国農村の一考察—

出 村 克 彦・高 橋 義 文・林 岳

A Measure of Ecosystem and Human Activity : A Study of Rural Areas in China making use of Ecological Footprint

Katsuhiko DEMURA, Yoshifumi TAKAHASHI, Takashi HAYASHI

Summary

Recently, the word sustainability has been used frequently in the media and academia, however, the term sustainability itself is difficult to explain. We have split the definition, calling one "weak sustainability", and the other "strong sustainability". We then estimated the measure of strong sustainability using Ecological Footprint Analysis that was based on carrying capacity. We estimated the original ratios to convert organic fertilizer to land area in developing areas, Nongshitun, in China. The conclusions of this study are as follows. (i) The per capita area required to support current human activity is 60a in the Nongshitun area. (ii) According to our estimates, the Nongshitun area cannot sustain its population with its current land usage. The study's estimates will be useful for land use planning in other developing areas.

1. 課題

ローマ・クラブの警告以来、人間社会の経済活動に関して持続的成長の可能性が論議されてきた。人間の欲望は限りないが、地球上の資源は有限である。人間は生産活動、消費活動をするが、何れの活動においても確実なことは廃棄物を出していることである。資源を大量に使用し、大量生産、大量消費して、大量の廃棄物を出すことへの疑問、反省が高まり、持続性に基づく経済活動への新たな対応が求められている。循環型社会のあり方が一つのパラダイムとして指向されている。持続性の概念は様々な定義可能であるが、基本的には二つの考え方がある。一つは、資源利用における再生可能性の範囲内での資源利用における持続性であり、他の一つは今の世代の生存水準が次世代においても実現可能であるという経済的な持続性である。今日、環境問題は新たな南北問題として発現している。アジア、南米、アフリカ諸国の開発

途上国が豊かな社会へ向けて経済成長を目指すことが環境を汚染し、破壊するという開発と環境のトレードオフのジレンマである。持続性とはまさにこのトレードオフのジレンマから抜け出す途を求めることに他ならない。この持続性を明らかにすること—すなわち自然生態系の機能、能力の評価と人間活動の共存関係の限界を定めることが、重要な環境評価として課題設定されることになる。

本稿では、生態系と人間活動の関係を定量的に環境評価することを目的としており、そのために次の2点を課題とするものである。第一に、生態系と人間活動の定量関係をキャリング・キャパシティー（環境収容力）として指標評価することであり、第二は、この指標化は資源データ、経済データが整備されている先進国での分析はあるが、途上国での分析がないのが実情である。そこで、本稿では、中国農村地域を対象としたケーススタディにより、環境評価に対する一考察を行うことである。本稿の試算はデータとしてまだ十分では

ないが、理論的分析フレームを構築するために重要な分析ケースとなりうるものである。

なお、本分析の基になった調査研究は、日本学術振興会、未来開拓学術研究推進事業（複合部会）「アジア地域の環境保全」として、平成10年度より実施されてきた日中共同研究である。詳しい内容は、文献 [19]、[20] にまとめられている。

2. 持続可能性と Carrying Capacity

1) 2つの持続可能性

2章では、近年、頻繁に利用されるようになった持続可能性という言葉の定義を正確にまとめ、現在どのような持続可能性を計る指標が開発されているのかを概説し、その計測結果が、なぜ持続可能性を表す指標になるのかを解説する。

現在、日本で広く知れ渡っている「持続可能性 (Sustainability)」の概念は、1984年にノルウェー首相ブルントラントを委員長として発足したブルントラント委員会 (Brundtland Commission: 以下ブルントラントとする) によって定義、敷延されたとされる「持続可能な発展」(Sustainable Development) が主流である。WECD [16] によると、ブルントラントの「持続可能な発展」概念は、「将来の世代が自らの欲求を充足する持続可能な能力を損なうことなく、今日の世代の欲求を満たすこと」と定義され、省資源、省エネルギー型の経済成長を目指すものである。しかし、諸外国などで認識されている「持続可能性」には、ブルントラントによる「持続可能な発展」概念以外にも Daly [15] の考えによるものがある。福士 [18] によると、Daly の唱える持続可能性は、我々の経済活動を包含している生態

系に重点をおいたものであり、「持続可能な発展」のように「成長」という量的増加を目指すものではなく、「発展」という質的改善に努めたものである (註1)。両概念の違いは表1にまとめられている。

Pearce and Atkinson [10] の分類に従うと、ブルントラントの「持続可能な発展」と Daly の持続可能性の具体的な違いは、将来においても価値ある財を生むことのできる森林資源や漁業資源などのような自然資本と、人間の手を加えた人工林のような人工資本の代替が可能であるか否かによって区分される。Pearce は、自然資本と人工資本の代替が可能であるようなブルントラントの「持続可能な発展」を「弱い持続可能性 (Weak Sustainability)」, 人工資本から自然資本への一方的な代替は不可能であり両者は補完的であるとする Daly の持続可能性を「強い持続可能性 (Strong Sustainability)」としている (註2)。「弱い持続可能性」は自然資本の減少を人工資本の増加で代替し、総資本量を維持することが合理的と考える立場である。例えば、天然林を100単位伐採したとしても、同量の人工林を植樹すれば問題はないとする。一方、「強い持続可能性」は自然資本の減少を人工資本の増加で代替できないと考え、両資本は常に補完的であるとする立場である。例えば、人間活動による天然林の減少を人工林の植樹で補ったとしても、「強い持続可能性」の立場では人工林が天然林を代替したことにはならない。なぜなら、人工林は天然林を基礎に、育苗、植林というエネルギーを加えただけ、すなわち加工しただけにすぎず、人間活動のために天然林が伐採され続ければ人工林の植林も不可能に

表1. 2つの持続可能性の定義

ブルントラントの持続可能性		Daly の持続可能性
技術中心的立場	立場	エコロジー中心主義の立場
持続可能な発展とは、将来の世代が自らの欲求を充足する持続可能な能力を損なうことなく、今日の世代の欲求を満たすことである。	定義	エコノミーを取り巻くエコシステムを考慮に入れながら生産と消費の循環を考察し、それとの均衡状態の達成を試みることである。
「弱い持続性」つまり、自然資本と人工資本の代替を認める。	違い	「強い持続性」つまり、自然資本と人工資本の代替を認めず、両者の補完的性格を強調する。

出典: Pearce and Atkinson [10], Wackernagel and Rees [11], 福士 [18] を基に作成。

註1) Daly の説く持続可能性は、定常経済状態を指す。定常経済状態の詳細については、Daly [14] を参照。

なるからである（註3）。

このような持続可能性の概念の違いを考慮しつつ、持続可能性という意味を考えた場合、現代の自然資本の減少がすべて人工資本の増加で代替可能であるとは言えない。特に自然資本に注目すると、天然林が全て人工林に変わるようなことはなく、補完的な状態を維持しているのが現実である。以下本稿で単独に「持続可能性」という言葉を使用する場合、両資本は常に補完的なものであるとする Daly の持続可能性の概念に準拠する。

2) 持続可能性を計る指標

現在、地球上では様々な人間活動が営まれている。それら人間活動は、多くの自然資本と人工資本を利用して行われるなど、自然生態系と複雑に関係しているため、それら人間活動の持続可能性を厳密に測定することは難しい。そのため、これまで様々な持続可能性を測定する方法論に関して、概念的工夫が行われてきた（註4）。その結果、開発された指標には、単一の要素のみで持続可能性を計る個別指標群（Indicator）と複数の尺度を統合した総合指標（Index）がある。個別指標群の代表的な手法としては、①Ecological Carrying Capacity があり、総合指標の代表的な指標としては、②エコ・スペース（Ecological space）、③エコ・リュックサック（Ecological Rucksack）、④エコソン（Ecological Person）、⑤エコロジカル・フットプリント（Ecological Footprint：以下 EF と略す）などが挙げられる。これらはいずれも人間活動が環境に与える影響の測定を異なる視点から数量化し、その値がある一定水準以内であれば持続可能性であるとする指標である。以下個別指標群と総合指標のグループごとに、持続可能性の指標がもつ特徴を表記番号順に従って概説していく。

はじめに、個別指標群を説明すると、①Ecological Carrying Capacity は、「一定面積の生態系に無理なく持続的に負わせることのできる人間の人間活動による環境負荷の上限」と定義される。これは、人間が生態系に与えることのできる負荷の上限と、実際に人間が生態系へ与えている環境負荷を比較することで持続可能性を判断する手法である。

次に総合指標を説明すると、②エコ・スペースは、自然環境を維持しながら人間一人当たりが利用可能な環境空間を表してくれる指標である。つまり、社会的に認められている人間の最低限の生活水準を意味する需要量と、これ以上消費すれば自然生態系が破壊してしまうような過剰な需要量の範囲を表す指標である。③エコ・リュックサックは、「製品が背負った重荷」という和訳があるように、製品のライフサイクル過程の中で「他の物質の消費」を背負った物質フローである重さの単位を用いて、環境の負荷を表示する指標である。すなわち、見えない部分で発生している環境負荷を測ろうとする指標である。④エコソンは、太陽エネルギーと世界人口の関係から求めた持続可能な一人当たりのエネルギー量で生活する人をいう。具体的には、全人口で消費したエネルギー量が養えるエコソンと実際の人口を比較することで持続可能性を計る方法である。⑤EF は、ある一定人口が必要とする財・サービスをすべて面積に換算し、その合計面積と一定人口の住む面積を比較することで持続可能性を判断する方法である。この指標は、人間が生存するためにどれだけの土地（水域）面積を利用するか、つまり土地（水域）に対する負荷を示す概念であり、Footprint（踏みつけ）の謂である。

これら指標の特徴にはそれぞれ一長一短があり、分析を行う者は持続可能性を計測したい分析対象に合わせて分析方法を選択すべきである。もし、ある一つの自然科学データから持続可能性を判断するような基準を得たいのであれば、Ecological Carrying Capacity が適していると言える。また、生産された財やある生産技術に注目した場合、その活動自体が自然生態系にどれくらい環境負荷を与えているかを測定し、持続可能性を判断したいのであれば、エコ・リュックサック、EF などが適し、エネルギー使用量の視点から持続可能性を測定したいのであれば、エコソン、EF などが適していると言える。さらに、人間の生活空間という視点から持続可能性を計測したいのであればエコ・スペースが適していると言える。そこで本稿では、総合的指標で、かつ適用範囲が広く、学術的に研究成果が蓄積されている信頼性の高い EF 分析を持続可能性の指標として注目した。EF 分

析はキャリング・キャパシティーを基に独自の分析方法で計測した値を用いて持続可能性を判断するものである。そのため、3節においては、EF分析の計測に欠かせないキャリング・キャパシティーの概念と特徴、さらにキャリング・キャパシティーの概念を基に新しく構築された概念を紹介し、3章においてEF分析の詳細を解説する。

3) Carrying Capacity と Appropriated Carrying Capacity

キャリング・キャパシティーの概念は、時代を遡ると、もともとはプラトンの言葉に端を発している。Wackernagel and Rees [11]によると、プラトンは人口と土地の間の関係を初めて言及し、「土地は、適度に快適な状態にある人口を維持するのに十分なほど拡大されなければならない」ということを説明している。その考え方を援用し、生物学分野などではキャリング・キャパシティーを持続可能性の目安として利用し、家畜の飼育規模を計る手段として使用してきた。このように旧来より利用されてきた古典的なキャリング・キャパシティーは、通常「一定面積の区切られた土地（水域）に、ある種の動物を放し飼いにし、長期的にその土地（水域）の生産力を損なわない形で養うことができる最大の頭数」と定義され、その概念は表2の(1)式によって説明される。

さらに、和田 [17]によると、この考え方を人間に応用したのがCattonである。Cattonは、人間の所得水準や生活様式により、個人の資源消費量が異なる点を考え、所与の土地面積に何人の人間が生活できるかという土地面積あたりの人口を求めるのではなく、土地面積あたりどの程度までその土地の生態系に負荷をかけられるかという視点からキャリング・キャパシティーを求めようとした。そのため、Cattonが人間に適応させたキャリング・キャパシティー（以下人間のキャリング・キャパシティー）は「一定面積の生態系に無理なく負荷を負わせることのできる人間の消費活動による負荷の上限」と定義され、その概念は表2の(2)式によって説明される。

しかし、Cattonの定義による人間のキャリング・キャパシティーでは、自己の住む地域で得られないものがあれば、貿易を通してそれを克服す

ることが可能となり、与えられた一定面積の地域における資源供給量の限界は、貿易が活発化するなどの経済のグローバル化の中で解消されてしまう可能性がある。例えば、人間が一定面積の区切られた場所で生活している時は、自分の生命を維持するためにも、所与の空間を荒廃させない範囲で自然生態系に環境負荷を課していた。しかし、貿易が可能になると、自分の生活する所与の空間を荒廃させることなく、他地域で環境に負荷を発生させ生産された財を輸入し、それを消費することが可能になる。つまり、貿易という手段によって、一定地域の人間のキャリング・キャパシティーは容易に拡大可能であるという問題を生むことになる。

そこでWackernagelらは、貿易という手段でキャリング・キャパシティー（註5）が変化してしまうのであれば、はじめから人口を固定し、その人口の消費活動を持続的に支えるためにどれくらいの土地・水域面積が必要なのかというAppropriated Carrying Capacity（囲い込まれた土地扶養能力；以下ACCと略す）概念を考案した。この概念は、土地面積当りの負荷の上限を求める方法である人間のキャリング・キャパシティーから、一定人口がどれくらいの環境負荷を出しているのかを求める方法に視点を変えたものである。すなわち、ACC概念は「一定人口の経済活動による環境負荷を無理なくかつ継続的に負わせるためにはどれだけの面積の土地と水域が必要になるか」と定義される（註6）。現在の人間活動を鑑みれば、貿易が盛んに行われているので、人間のキャリング・キャパシティーは大きく変化することが予想される。したがって、持続可能性の目安として利用される概念は、キャリング・キャパシティー概念を原理としたACC概念が有効であると思われる。

このACC概念を基に開発された分析手法が前述したEF分析であり、その概念は表2の(3)式によって説明される。以下、EF分析について解説する（註7）。

3. Ecological Footprint 分析について

1) EF 分析の定義と特徴

EF分析は、カナダのブリティッシュコロンビ

表2. 各キャリング・キャパシティーの定義

区 分	定 義	計 測 式
古典的 Carrying Capacity 概念	一定面積の区切られた土地（水域）にある種の動物を放し飼いにし、長期的にその土地（水域）の生産力を損なわない形で養うことができる最大の頭数	$\frac{\text{家畜頭数の上限}}{\text{土地面積}} \quad (1)$
人間の Carrying Capacity 概念	一定面積の生態系に無理なく負荷を負わせることのできる人間の消費（経済）活動による負荷の上限	$\frac{\text{人間の経済活動の負荷の上限}}{\text{土地面積}} \quad (2)$
Ecological Footprint 概念	一定の人口の消費（経済）活動による環境負荷を無理なくかつ継続的に負わせるためにはどれだけの面積の土地と水域が必要になるか	$\frac{\text{土地面積}}{\text{一定人口の経済活動の負荷の上限}} \quad (3)$

出典：和田 [17] をもとに作成。

ア大学の Wackernagel と Rees らの研究グループによって開発された。Rees [6] によると、EF は「ある特定の地域の経済活動、または、そこに住む人々が一定水準の物質消費レベルで生活を維持するために必要となる生産可能な土地および水域面積、すなわち、ある地域で必要とされ資源の要求量を生み出し、排出物質を同化してくれる土地および水域面積の合計」と定義される。

この分析手法は、人間活動を行うのに必要とする自然資本の量を土地（水域）という面積の尺度に換算し、表示するツールである。すなわち、EF 分析は、ある特定地域の人間活動、または、そこに住む人々の生活を持続的に維持していくために、どれくらいの土地（水域）面積が必要であるかを表示するものである。例えば、我々の生活は、食料を生産するための農地、生活の場を確保するための居住地、海洋産物を得るための海水・淡水域、何らかの人間活動の結果排出した二酸化炭素を吸収するための森林地、などによって支えられている。そのため、我々が実生活で必要とする各地目（水域）面積を合計することで、我々の生活に必要な土地（水域）面積である EF が推計される。

EF が何故面積換算されるのかという理由については、以下の4点が挙げられる。第一に、面積換算することは我々にとって馴染み易く、自然に対する環境負荷の大きさを容易に想像することができる点である。第二に、持続可能性の判断基準を地球の面積（註8）に置き換えることができる点である。なぜなら、人間が地球の住人である以

上、地球の崩壊を招くような人間活動は本末転倒である。当然、EF 分析により求められる人間活動の EF も、地球の有限な土地（水域）面積を越えるようでは本末転倒である。第三に、人間を含めて生態系を包括的に見ようとする際、人間が主体となって価格付けた貨幣評価より、土地（水域）面積という物理量で見る方がよりバイアスが少ないと考えられる点である。第四に、我々の消費している財・サービスを作るための根源が土地（水域）であるという点である。なぜなら、土地（水域）からある財を生産することは可能であるが、ある財から土地（水域）を生産することはできないという不可逆性が存在する。

前述したように、EF は面積で表されるため、人間が生活する上で必要となる面積すなわち要求量と、実際に使用可能な領域面積すなわち供給量のギャップを定量的に表すことができるという特徴を持つ。例えば、行政が環境政策に関する幾つかの政策手段を選択する場合や、企業が新しい生産技術を選択する際に、それら選択肢がどれくらいの負荷を自然に与えるのかを定量的に提示することができるなど、社会のあらゆる側面で有用な情報を与えてくれる。また、一人あたりの EF とその地域での利用可能面積から、その地域で持続的に扶養できる人口（人口扶養力）を予想することも可能である。

2) EF 分析を利用した既存研究のサーベイ

前節では、EF 分析の定義と特徴を解説したが、

実際に、EF 分析の既存研究の中で EF 分析がどのようなケースに適用されたかを整理し、次にそれら既存研究の特徴を紹介する。

EF 分析を用いた過去の研究業績には、Folke et al. [1], Folke et al. [2], Parker [3], Wackernagel and Rees [4], Rees [5], Wada [7], Wada [8], Leitmann [9], WWF [12] 等がある。それら研究は、大別すると3つに分類される。第一は、Folke et al. [2], Wada [7] のように特殊な産業技術に注目し、その特殊な産業技術が自然生態系に及ぼす影響力を定量的に表示したものである。Folke et al. [2] は、バルト海沿岸域を事例に EF 分析を行い、現在の漁業、海産物養殖業の経済活動が海域・沿岸のマリン・エコシステムに負荷量を与えすぎていることを明らかにした。Wada [7] は、トマトの水耕温室栽培と露地栽培を対象に EF 分析を行い、前者は経営的な意味で効率的ではあるが、生態学的な意味で非効率であることを実証した。

第二は、Folke et al. [2], Leitmann [9] のように、EF 分析が、自然資本の管理や政策の計画段階で有用であるという、EF の実社会への適用方法を示唆するものである。Folke et al. [2] は、前述のバルト海沿岸地域のマリン・エコシステムに負荷を与えすぎているという EF 分析結果を利用して、海域・沿岸を管理する主体側や政策を行う主体側は、魚介類を生産するためのマリン・エコシステムの環境負荷に対する許容範囲を明示的に説明し投資しなければならないという政策的含意を述べている。Leitmann [9] は、ロンドンの住民の財・サービス消費活動を事例対象にした EF 分析結果を利用し、EF 分析が環境計画や環境管理を行う際に非常に有用であるという事を紹介した。

第三は、Folke et al. [1], Parker [3], Wackernagel and Rees [4], Rees [5], Wada [8], WWF [12] のように、国ないしは都市の住民の財・サービス消費活動を対象に EF 分析を行い、国ないしは都市が自然生態系にどれくらいの負荷をかけているかという実態を明らかにしたものである。Folke et al. [1] は、バルト海沿岸地帯の29都市において、都市住民の消費活動を対象に EF 分析を行った。この研究では、人間

活動によって生じる廃棄物に、従来の CO_2 以外にも SO_x , NO_x を考慮して計測したことが特徴である。Parker [3] は、1961年から1995年期間の日本を事例にして EF 分析を行い、EF 分析の結果と日本の実質 GDP の成長率を比較した。その結果、日本は60年代から90年代までに、投入資源量が60年代より2倍に増加したが、同期間で実質 GDP も60年代より3倍に増加するという省資源型経済成長を遂げた。しかし、その間に、無駄な消費活動も60年代よりも2倍に増加していることを明らかにした。Wackernagel and Rees [4] は、貿易が地域資源の枯渇化を促進させているという課題を裏付けるために、日本を含む主要12カ国を対象に EF 分析を行い、貿易が地域資源の枯渇化を促進させていることを実証した。Rees [5] は、カナダのバンクーバーとその周辺のフレーザー川下流域の2地域を対象に EF 分析を行った。その結果、バンクーバーのような都市型の経済活動は自然生態系に大きな負荷をかけており、都市としての経済活動を維持するために、周辺地域の自然生態系に大きく依存していることを説明した。Wada [8] は、「弱い持続可能性」の概念で、持続可能な国とされる日本を対象に EF 分析を行った。その結果、日本は「強い意味」では持続不可能であることを実証した。WWF [12] は、約150カ国の国ごとの EF 分析結果をまとめた。その結果、現在の地球は、持続可能性の基準値を少なくとも30%超過しているということを明らかにした。

以上の既存研究の対象事例をみると、ほとんどがトマトの生産やシーフードの生産という一生産物の特殊な生産技術に焦点をあてているか、あるいは一定地域、都市、国などを対象にしたものである。また、それら研究の対象事例の特徴を見ると、ほとんどが先進国に該当する。確かに、新技術の導入を頻繁に行ったり、自然資本を大量に消費するような先進国を対象に EF 分析することは非常に有用である。しかし、今後、地球規模での持続可能性を考えていく際に、先進国のみならず、人口増加率の著しい発展途上国の分析も考慮する必要がある。そのためにも、発展途上国で EF 分析を試みることは持続可能性を考える上で大きな一歩といえる。唯一、WWF [12] が発展途上国

表3 土地カテゴリーと各土地で生産される財

土地カテゴリー	生産される財
農地	穀物類・野菜類・果樹類などの農産品、加工産品
牧草地	飼料・酪農品・ウールなどの農産品、加工産品
森林地	家具・パルプなどの林産品、加工産品
二酸化炭素吸収地	化石燃料・電気・ガスなどによって発生した二酸化炭素量
生産能力阻害地	建築物・道路・ゴルフ場など何も生産されない土地
海洋・淡水域	魚介類などの漁業産品、加工品目

註1) 表中の財の区分はあくまで具体例であり、分類するための目安である。

も事例対象に含めて EF 分析を行っている。しかし、その計測には先進国と同一の手法を採用しており、発展途上国（地域）特有の経済状況、生産技術、生活習慣などという実態を反映させた結果ではない（註9）。

よって、これからは発展途上国（地域）の実状に沿った EF 分析モデルの構築も視点に入れておく必要があるといえよう。

3) EF の計測方法

EF 分析に関する既存研究では、EF の計測方法にそれぞれ違いがあり、必ずしも統一的な方法がとられているわけではない。しかし、計測に関する基本的な考え方は同じであるため、以下、基本的な計測方法を概説していく。

はじめに、我々が年間に消費する全ての財を1. 農地、2. 牧草地、3. 森林地、4. 二酸化炭素吸収地、5. 生産能力阻害地、6. 海洋・淡水域、の6つの土地カテゴリーに分類する。農地、牧草地、森林地、海洋・淡水域にはそれぞれ農地、牧草、森林、海洋・淡水域を起源に生産されるものが該当する。二酸化炭素吸収地はエネルギーの消費により発生した二酸化炭素量を吸収するための森林地が入れられる。生産能力阻害地はもともと何かを生産することが可能な土地であったが、建築物の建設や舗装などにより、何も生産することができなくなった土地の面積が入れられる。各地目において生産される具体的な財の内訳は表3に掲げる。

次に、農地と森林地に属する各財の年間消費量を生産するために使用された面積を求める。面積そのもののデータが存在しない場合は、消費量と土地生産性データをを用い推計する。酪農品については、牧草や穀物飼料の使用にかかわる土地面積

を用い、森林の場合は、年間の単位あたりの成長量を使用する。

そして、二酸化炭素吸収地の面積を算定する。具体的には、ある一定地域内で化石燃料や木材、廃棄物などの燃焼により発生した二酸化炭素排出量を求め、世界の森林の平均二酸化炭素固定能力量で除すことで二酸化炭素吸収地面積を推計する。

さらに、既存の統計資料から生産能力阻害地を求め、最後に海洋・淡水域を起源とする財の年間消費量を算定する。海洋・淡水域の面積は、漁獲された魚と同量の魚が回復するのに必要とされる植物性プランクトン量から求められる（註10）。例えば、アジに関して説明すると、100gのアジは生きるために1kgの動物性プランクトンを必要とし、その1kgの動物性プランクトンは10kgの植物性プランクトンを必要とする。このように、全ての魚介類に関して必要とされる植物性プランクトンの量を計算すると、魚介類が必要とする植物性プランクトンの総量が推計される。さらに、その得られた数値を水域の単位面積当りの植物性プランクトン量で除し、魚介類の海洋・水域面積を求める（註11）。

以上の作業手順を経て、各項目から得られた面積を合計した総面積がEFとなる。

4. 中国農村地域への EF 分析の適用

1) 弄石屯の概要

本稿の適用地域は、中国西南部広西壮族自治区大化県七百弄郷の集落「弄石屯」（以下、弄石屯とする）である。この地域は、面積約65haの周りを山々に囲まれた石灰岩山系のカルスト地形であり、平地の少ないところである。住民はドリーネの底部にある盆地上集落（弄と呼ばれ、複数の弄による集落を屯と呼ぶ）に居住し、少ない平地

表4 弄石屯の1世帯あたりのEF分析結果

		V	VI	VII	VIII	IX
		総作付面積 (a)	販売品作付面積 (a)	購入品作付面積 (a)	自家消費用作付面積 (a)	実際に使用した面積 V - VI + VII (a)
農地	耕種作物	76.59	0.59	12.95	70.35	88.96
カテゴリー	(家畜生産)	(28.84)	(15.94)	(1.27)	(12.93)	---
森林	林産物	---	---	---	---	---
カテゴリー	エネルギー	193.57	0.00	0.64	193.57	194.21
生産能力阻害地						
カテゴリー		0.99	0.00	0.00	0.99	0.99
世帯あたりのEF		271.15	0.59	13.60	264.90	284.16
一人あたりのEF		56.34	0.12	2.83	55.04	59.05

註1) 表中の「***」は、概念的に存在しないセルを、「---」は推計できないため数値を計上しないセルをそれぞれ表す。

註2) 表中の各カテゴリーの計測結果の詳細は付表1から6を参照。

註3) この計測結果は1999年の黒河 [19] の報告データを基礎に、2000年の鄭 [19], [20], 信濃 [20], 大久保 [19], [20] の報告データを利用して計測を行った。

註4) この分析結果には、サービスの消費による自然生態系への負荷は計上されていない。なぜなら、サービスを生むような産業が存在しないためである。

に農地を確保して農業を中心に生計を立てている。弄石屯の人口は、2000年現在で94人となっており、一世帯あたりの家族人数は平均4.5人である。

年々弄石屯では人間活動により森林生態系が破壊され、土壌浸食が著しく進行した。ほとんどの世帯で農業を営んでおり、生産性を上げようと開墾するが、森林生態系の破壊と土壌浸食の進行で土地面積の増減はほとんどない。現在も食料と家畜飼料に関しては、ほとんど自給自足でまかなわれているものの、近年の人口増加に伴い主食であるトウモロコシの増産を狙って化学肥料が使われるようになってきている。なお、家畜についてはほとんどの農家が豚を飼っており、次いで山羊、鶏、兔などが飼育されている。

弄石屯は古くから自給自足の生活を営み、長年持続的な人間活動が行われてきた。しかしながら、近年は急速な人口増加、弄外との交流の活発化による生活様式の変化などにより、今まで維持されてきた自然生態系の持続可能性が失われてきたと言われている。このような一連の変化を遂げてきた弄石屯は、EF分析を適用して持続可能性を検証する発展途上地域の事例として有効であると考えられる。

2) 分析手法の概説と限界

(1) 分析手法の概説

本稿での弄石屯を対象としたEF分析は、3つ

の土地カテゴリーに分けてEFの計測を行った。第1のカテゴリーは農地であり、農地を起源とする生産物を対象としたEFの計測である。農地カテゴリーでは、農地から生産される財を耕種作物、家畜生産、その他の食品の3つに分類し、その3つの分類が自然生態系に与えている負荷を面積換算しEFを計測した。耕種作物に関するEFの計測にあたっては、既存研究にはない堆肥・液肥・草木肥などの有機肥料を面積換算するために必要な係数をも計測している。

第2のカテゴリーは、森林を起源とする生産物と人間活動の結果生じる二酸化炭素を吸収するための森林地に関するEFの計測である。森林カテゴリーでは、主に、森林地の利用としてウェイトの高い薪材の燃焼により発生する二酸化炭素量の二酸化炭素吸収地を求めている。

そして、第3のカテゴリーは生産能力阻害地のEFの計測である。なお、弄石屯は内陸に位置し、海洋から非常に遠い位置にあるため、魚介類や海産物など海洋・淡水域を起源とする食料ないしは加工品をほとんど消費していなかった。そのため、本稿では海洋・淡水域に関するEFの計測は割愛した。以下、EF分析の結果をまとめた表4の中の表記について解説を行い、土地カテゴリー毎の分析結果の概要と考察を行っていく。

はじめに表4の中の総作付面積、販売品作付面積、購入品の作付面積、自家消費作付面積、実際

に使用した面積の説明をする。表4中のV列：総作付面積は、弄石屯内で行われている年間の人間活動が自然生態系に与える負荷を土地面積に換算したものである。VI列の販売品作付面積は、弄石屯外への移出品のために、弄石屯内の自然生態系にかけられた負荷を面積換算した数値である。これは弄石屯外に起因する環境負荷と考えられるので、弄石屯のEFから除外して計算される。VII列の購入品の作付面積は、弄石屯への移入品のために、弄石屯外の自然生態系にかけられた負荷を面積換算したものである。この数値については、弄石屯内の消費に起因して弄石屯外の外部の土地に負荷をかけている部分と考えられるため、弄石屯の環境負荷として弄石屯のEFに加える。VIII列の自家消費作付面積は、弄石屯内で行われている年間の人間活動が自然生態系に与える負荷を土地面積に換算し、そのうち弄石屯の人間活動主体側に原因がある面積である。最後にIX列の実際に使用した面積は、

$$\text{総作付面積 (V列)} - \text{販売品作付面積 (VI列)} + \text{購入品作付面積 (VII列)}, \quad \cdots(1)$$

によって求められる。つまり、IX列は、弄石屯の住民が年間に行った人間活動によって自然生態系に与えた負荷を土地面積に換算したもので、弄石屯のEFに該当する面積である。よって5章の考察部分においては、IX列に掲げる数値に重点を置いて各カテゴリーの考察を行う。

この総作付面積(V列)と実際に使用した面積(X列)を用いて、住民が現行水準の消費を行うために必要な面積と実際に使用している面積の大小を比較することができる。仮に総作付面積(V列)が実際に使用した面積(X列)を上回っている場合、当該地域において現行水準の消費活動を許容するだけの土地が存在することを意味する。一方、実際に使用した面積(X列)が総作付面積(V列)を上回っている場合には、現行水準の消費活動を受け入れるには土地が不足していることが示される。

また、総作付面積(V列)と販売品作付面積(VI列) + 自家消費作付面積(VIII列)の合計を比較することで、過去に生産して貯蔵しておいた作物や財を消費するというストックの減少が生じているのか、生産された作物や財の量が消費量以

上であるため将来の貯蓄に回すというストックの増加が生じているのかを判断することができる。例えば、

$$\text{総作付面積 (V列)} \leq \text{販売品作付面積 (VI列)} + \text{自家消費作付面積 (VIII列)}, \quad \cdots(2)$$

が成り立つ場合、年間の作付け以上に販売・消費がなされていることを示し、ストックを減少させていると言える。逆に、

$$\text{総作付面積 (V列)} \geq \text{販売品作付面積 (VI列)} + \text{自家消費作付面積 (VIII列)}, \quad \cdots(3)$$

が成り立つ場合には、年間の作付けの範囲内で販売・消費がなされていることを示し、ストックは増加していると言えるのである。

最後に、弄石屯の総面積を一人当りのEFで割ることにより、現在の消費水準を維持したままの人間を何人養うことができるのか、現在の消費水準を維持したままの人口を養うのに他地域にどれくらいの面積が必要なのかを求めることができる。その計算は、

$$\text{弄石屯が扶養できる最大人口} = \text{弄石屯の総面積} \div \text{一人当りのEF}, \quad \cdots(4)$$

$$\text{他地域に必要とする面積} = \text{一人当りのEF} \times \text{総人口} - \text{総面積}, \quad \cdots(5)$$

として求めることができる。

(2) EF分析の限界

ここでは、弄石屯のEF分析における限界について述べる(註12)。はじめに農地に関しては、EF分析の限界として以下の2点が挙げられる。第一に化学肥料の炭安、リン肥料のEFを求めることができなかった点である。弄石屯において炭安、リン肥料は施肥量が多く、化学肥料の中でも特に重要なものである。これらをEFの計測に導入すると、より厳密な持続可能性指標となると考えられるが、現段階ではデータの欠如からそこまで至っていない。この点は改良可能である。第二に家畜が消費した耕種作物量は、人間が消費した耕種作物の自家消費量によってまかなわれている。そのため農地カテゴリーのEFを求める際に、耕種作物消費のEFと家畜消費のEFを合計すると二重計算となってしまう。しかしながら、人間の使用した作物量と家畜が使用した耕種作物量が明分化されていないため、二重計算を排除できな

かった。そこで、一世帯あたりの EF を導出する際には、家畜の EF を計上せずに耕種作物の EF のみを計上した。

森林の限界については、以下の3点が挙げられる。第一に、二酸化炭素の排出係数を弄石屯または中国の数値を用いず、日本の数値と同一と仮定したことである。先進国である日本と発展途上地域である弄石屯では当然ながら二酸化炭素の排出係数も異なることが予想される。第二にバイオガスの二酸化炭素排出量を求められなかったことである。バイオガスは発展途上地域において今後主要なエネルギーとなる可能性を持つ重要なエネルギー源である。弄石屯においてもバイオガスを利用した家事が実験的に行われ、バイオガスの導入によってエネルギー確保の手段が大きく変化している。このような重要な役割を持つバイオガスを EF 分析に導入することは、これからの発展途上地域の EF 分析をする上で重要と思われる。第三にバイオマス成長量を考慮していないことである。弄石屯は周りを森林に囲まれた地域であり、特にバイオマスの影響が大きい地域である。そのため、EF 分析にバイオマスの成長を導入することで、その結果が大きく変化することが予想される。これに関しては、バイオマス供給量データにより改良可能である。

最後に EF 分析全体としての限界点は、第一に特に生産阻害地、森林地などで、データの制約上計上できないセルが多かった点、第二に利用したデータが弄石屯の悉皆データではなく平均値のデータである点、第三に洋服など一般消費財と学校などの光熱費といった公共サービスに対する暖房費などの維持管理費用を計上していない点である。

以上、本稿における EF 分析の限界点を指摘してきた。これら限界の存在のため、本稿で得られた EF 分析の結果は概算の域を脱しておらず、厳密に持続可能性を評価したと言い切れない部分が存在する。しかし、農業が主産業である弄石屯において、食糧生産に関する EF の項目がほぼ計測されていることから、本稿における EF 分析の結果は、途上国における物的単位の生態系評価の一試算としては有効であると考ええる。以下5章において、試算結果を考察する。

5. 試算結果と考察

1) 各カテゴリーの計測結果と考察

本分析で得られた計測結果を表4の各カテゴリーにそって考察していく。

はじめに、農地カテゴリーに関して考察していく。農地カテゴリーは耕種作物、家畜生産、その他の食品の3つに分類されるが、その他の食品については、データの制約上計測することができなかったため、本稿の EF 分析では割愛した。はじめに、耕種作物の分析結果について概観する。実際に使用した面積（Ⅸ列）は88.96a となっており、総作付面積（Ⅴ列）よりも大きい値となっている。これは現在の作付面積状況では、耕種作物が不足していることを意味している。また、その不足している大きさは、購入品作付面積（Ⅶ列）と実際に使用した面積（Ⅸ列）の関係から、年間の弄石屯の農家が使用している15%に相当することわかった。この耕種作物の計測結果は付表1から得られたものであり、詳細な計測結果や特別な仮定は付表1中の註に記載してある。次に、家畜生産の分析結果について概観する。家畜生産の実際に使用した面積（Ⅸ列）を求めることは、データの制約により推計することができなかった。しかし、

総作付面積（Ⅴ列） $\leq$ 販売品作付面積（Ⅵ列）+ 自家用消費作付面積（Ⅷ列）、……(4)
という計測結果から、調査年次の家畜の飼育活動は家畜のストックを減少させていることがわかった。この家畜消費の計測結果は付表3から得られたものであり、詳細な計測結果や特別な仮定は付表3中の註に記載してある。

次に、森林カテゴリーについて考察する。森林カテゴリーはデータの制約が多く、計上できないセルが数多くあった。そのため、本カテゴリーで扱っている数値は過小評価であると予想される。このことを踏まえた上で考察すると、弄石屯の住民が人間活動を行った結果、必要とした二酸化炭素吸収地は一世帯あたり約2ha となった。このほとんどが食事や家畜飼料の調製のために発生した二酸化炭素を吸収するものである。この数値は人口増加、家畜頭数の増加により今後も増える可能性が懸念される。この森林地の計測結果は付表5から得られたものであり、詳細な計測結果や特

別な仮定は付表5中の註に記載してある。

最後に、生産能力阻害地カテゴリーについて考察する。生産能力阻害地カテゴリーの分析結果は、表4より0.99aとなった。生産能力阻害地の分析結果も、今後人口増加に伴って増えていく可能性がある。この生産能力阻害地の計測結果は付表6から得られたものである。

2) 弄石屯における EF と総合的考察

弄石屯の一人当りの EF は59.05a であることがわかった。この一人当りの EF は弄石屯の農家16戸の平均値から得られた値であり、弄石屯の農家21戸を調査した値ではない。しかし、本稿においては、弄石屯の試算値とし、それをもとに弄石屯の人口扶養力を計測する。まず、大久保 [20] によると、弄石屯における土地利用区分ごとの面積の合計は6460a であり、その内訳は山林4040a、畑・草地1970a、崩壊地・岩礫地460a である。

そこで、今回計測された弄石屯の一人当りの EF である59.05a を用いて、①どのような地目にも人間が住むことができるとした場合と②平地にのみ人間が住むことができる場合の二つのケースについて持続可能性を検討する。計算の結果、どのような地目にも人間が住むことができるとした時の人口扶養力は109人で、平地にのみ住むことができるとした場合の人口扶養力は33人となった。以上の結果から、弄石屯の人口である94人が現行の生活水準を続けるとした場合、森林や崩壊地・岩礫地など弄石屯内のほとんど全ての土地面積を必要とすることが示された。しかしながら、現実的には高山地域や崩壊岩・岩礫地などの全ての土地を利用することは不可能であるため、実質的には現行の生活水準では持続不可能であると言える。そこで、平地にのみ住民が居住することを仮定すると、弄石屯の人口扶養力は33人となり、現在の人口の約1/3の住民を養えるのみとなる。計測した EF は家畜の EF を計上していないなど過小評価と予想されるので、さらに人口扶養力は少なくなると考えられる。

6. 結語

本稿では、自然生態系の能力とその基における人間活動の関係を、キャリング・キャパシティー

の概念によって把握し、その具体的評価方法として、EF 指標を用いて環境評価を行った。キャリング・キャパシティーは新しい概念、指標ではない。この概念は、本来農学分析の概念に根ざすものであり、太陽エネルギーが光合成によって植物に結実され、この大地の恵みによって動植物及び人間の生存が可能になるという生存域の許容量を評価する考えに基づいているのである。環境保全は何のために必要かという点、根源においては人間の生存を確実にするためである。生命の生存域を構成する陸域・水域の環境容量を評価することは、人口の環境負荷を相対的に評価することである。地球上の人口はつい最近まで45億人だったが、60億人を突破し、近々100億人に迫るとの予測さえ出ている。

地球は限られた閉鎖系世界である。地球上の限られた資源を効率的に利用・再利用して環境に負荷を与えず、廃棄物を堆積させて汚染を拡大する事なく、人類が生存を持続していく可能性を求めることが環境問題の重要な課題である。特にこれからの経済発展を指向する途上国において、先進国が犯してきた環境悪化の轍を踏まないやり方が求められる。これからの経済発展を考える際、途上国が享受する自然環境、生態系機能を評価し、そのもとにおける人間活動の在り方を評価することが必要である。環境評価の基本目的はここに存在する。本稿はその試算と考察を行ったものである。しかし、データはまだ不十分であり、改善の余地は大いにあるが、本稿では分析フレームと EF の試算を行い、その一考察を提示した。

註

註1 Daly は定常経済論の中で、定常経済の環境マスター式を用いて「成長」と「発展」を明確に区別している。しかし、ブルントラントの「持続可能な発展」は「持続可能な発展」と「持続可能な成長」を同義として置き換えようとしている点があり、そういう理由からも Daly の持続可能性とブルントラントの「持続可能な発展」は異なるといえる。定常経済論や「成長」と「発展」の区別は Daly [14] が詳しい。

また、ブルントラントの「持続可能な発展」と Daly の「持続可能性」は字義として異なっており、両概念とも独自の持続可能性の概念を唱導している。

しかし、持続可能性をわかり易く説明するうえで、「持続可能な発展」と「持続可能性」は並立関係にあるものとする。

註2 Pearce and Atkinson [10]の研究では、「弱い持続可能性」概念であれば、日本は持続可能な国であるとしているが、3章で紹介したWada [8]の研究では、「強い持続可能性」概念であれば、日本は持続可能な国ではないとしている。

註3 「強い持続可能性」の考えは定常経済論に従っているため、その理論を援用して補足説明をする。定常経済論の中で重要なことは、人間活動を行う上で、自然資本と人工資本のどちらに制約要因を置くかである。もし、「弱い持続可能性」のような、自然資本と人工資本の間に代替可能性があるなら、当然制約要因は存在しない。しかし、「強い持続可能性」のような、自然資本と人工資本の間に代替可能性がないなら、自然資本と人工資本のいずれかに制約要因が置かれることとなる。例えば、我々が何らかの人間活動を行えるのは、自然資本と人工資本の両方を使用しているからであり、特に自然資源をエネルギーとして使用するためである。しかし、我々が過度な人間活動を行い、自然資本を大量に消費してしまうなら、自然資本に制約要因が置かれてしまい、我々は自然資本の制約要因に従って人間活動をしなくてはならなくなる。なぜなら自然資本と人工資本は代替不可能だからである。

註4 本稿で紹介はされていないが、「弱い持続可能性」を計るための指標は、従来の経済分析などで行われている。例えば、Pearce and Atkinson [10]はVictorの結果を利用して、自然資本と人工資本の合計を所得で除した値が貯蓄を所得で除した値よりも小さければ「弱い持続可能性」であることを説明している。

註5 本稿では、通常「キャリング・キャパシティー」と説明したときは、古典的なキャリング・キャパシティー概念や人間のキャリング・キャパシティー概念を利用して得られた環境収容能力、または人口扶養力とする。

註6 キャリング・キャパシティーの概念の説明に関しては、Wackernagel and Rees [11]、和田 [17]が詳しい。EFとACCの関係に関してはWackernagel and Rees [11]が詳しい。

註7 なお、EF分析はACC概念で求めようとしているものを計測するために開発された手法である。EFはEF分析によって求められた結果であり、持続可能な人間活動を行うために必要とされる土地（水域）面積を意味する。つまり、EFとACCは同義である。ACCとEFに関する詳細はRees [6]を参照。

註8 ここでいう地球の面積とは陸上の面積と水域の面積の合計である。水域の扱いについては、太陽光からエネルギーを生産することのできる植物性プランクトンが発生可能な領域とした。

註9 例えば、先進国と発展途上国の間では、農産物を生産するための様式は大きく異なっている。先進国では、穀物生産に化学肥料などを、家畜生産に濃厚飼料などを大量に投入するが、発展途上国では化学肥料や濃厚飼料にそれほど依存せず、堆肥や野草などを多く投入している。EF分析においては、このような国または地域ごとの相違点を考慮して分析を行う必要がある。

註10 既存の文献では、魚が必要とする植物プランクトン量を「必要一次生産量」と呼んでいる。ここでの計測方法はWada [8]が詳しい。

註11 Pauly and Christensen [13]によると、水棲生物の食物連鎖における栄養段階ごとの平均変換効率は10%とされているので、魚は自分の重さの10倍の小魚またはプランクトンを食している。

註12 EF分析に関して一般的に指摘されている問題点としては、以下の4点が挙げられる。第一には、領域の広い国や人口密度の低い国はより環境に負荷をかけることができるという、既得権益による自然資源利用に関する不公平性という点である。この点に対して、EF分析では、世界中の全ての人間が自然資源量を平等に分ち合うべきであるとする「公平原則」に従うため、持続可能性の限界を表す「公平割当面積」を判断基準にしている。Wackernagelらによると、「公平割当面積」は、一人あたり2.02ha（陸域1.51ha、海洋・淡水域0.51ha）であるとしている。第二には、埋め立ての結果、増加した土地面積の扱い方に関する点である。この点に対して、EF分析では埋立地の面積はそれほど大きくはないため取り扱われないケースが多い。もし仮に、埋立地を扱うようなことがあるのなら、埋立地の目的に沿った扱い方をするのが妥当であろう。例えば、埋立ての目的が工場の建設にあるのなら埋立地は生産能力阻害地として計上し、目的が農地の造成にあるならば、農用地として計上することになる。第三には、二酸化炭素吸収地のカテゴリーで、廃棄物の吸収として取り扱われる項目が二酸化炭素のみであるという点と、原子力や産業廃棄物の扱い方に関する点である。この問題点に対して、廃棄物は全て焼却するものと考え、廃棄物の分解は廃棄物の燃焼によって発生した二酸化炭素量の吸収とした。二酸化炭素以外に発生すると考えるNO_x、SO_xの導入については、既存研究のFolke et al. [2]が行っている。次に、原子力と産業廃棄物に関しては、原子力と産業廃棄物が自然生態系のシステムで吸収・分解

されないため、EF 分析では扱えない項目としている。第四には、福祉・教育・文化水準の低い国の EF が、公平割当面積よりも低いという事実のみで、持続可能な人間活動を行っているといえるのかという点である。これに対して、EF 分析は福祉・教育・文化など生活の質的な部分が考慮されていないので、今後更なる工夫が必要とされる。

引用文献

- [1] C. Folke, A. Jansson, J. Larsson, and R. Costanza, "Ecosystem Appropriation by Cities," *Ambio*, vol. 26 (3), 1997, pp. 196–172.
- [2] C. Folke, N. Kautsky, H. Berg, A. Jansson, and M. Troell, "The Ecological Footprint Concept for Sustainable Seafood Production: A Review," *Ecological Applications*, vol. 8 (1), 1998, pp. S63–S71.
- [3] P. Parker, "An Environmental Measure of Japan's Economic Development," *Geographische Zeitschrift*, 86. Jg. 1998 · Heft 2 · site. 106–119.
- [4] M. Wackernagel, and William, E. Rees, "Perceptual and Structural barriers to investing in Natural Capital: Economics from an Ecological Footprint perspective," *Ecological Economics*, vol. 20, 1998, pp. 3–24.
- [5] William, E. Rees, "Commentary Forum Consuming the earth: the biophysics of sustainability," *Ecological Economics*, vol. 29, 1999, pp. 23–27.
- [6] William, E. Rees, "Revisiting Carrying Capacity: Area-Based Indicators of Sustainability," *Population and Environment*, vol. 17 (3), 1996, pp. 195–213.
- [7] Yoshihiko, Wada, "The Appropriated Carrying Capacity of Tomato Production: Comparing the Ecological Footprints of Hydroponic GreenHouse and Mechanized Field Operations," B.A Dissertation, University of British Columbia, 1993.
- [8] Yoshihiko, Wada, "The Myth of 'Sustainable Development': The Ecological Footprint of Japanese Consumption," PhD Dissertation UBC, B.C, 1999.
- [9] Josef, Leitmann, *Sustaining Cities*, McGraw-Hill, 1999, pp. 106–109, pp. 183–185.
- [10] David, W. Pearce, and Giles, D. Atkinson, "Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of 'weak' sustainability," *Ecological Economics*, vol. 8, 1993, pp. 103–108.
- [11] Mathis, Wackernagel, and William, E. Rees, *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society Publishers, 1995.
- [12] WWF "Living Planet Report 2000," 2001.
- [13] Pauly, Daniel, and Villy, Christensen, "Primary Production Required to Sustain Global Fisheries," *Nature*, vol. 374, 1995, pp. 255–257.
- [14] Herman, E. Daly, *Beyond Growth*, Beacon, 1996, pp. 31–60.
- [15] Herman, E. Daly, and John, B. Cobb, Jr., *For the Common Good*, Beacon, 1989.
- [16] WECD, "Our Common Future," (大来佐武郎『地球の未来を守るために』, 福武書店, 1989, pp. 28–29.)
- [17] 和田喜彦「エコロジカル・フットプリント分析—生態学的に持続可能な地球をめざして—」, 『法政大学産業情報センターワーキングペーパー』, No. 67, 1998.
- [18] 福士正博『市民と新しい経済学』, 日本経済評論社, 2001.
- [19] 「日中共同研究 中国西南部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発報告書平成 11 年度 (第 3 報)」, 1999, pp. 15–21, pp. 52–58, pp. 286–294.
- [20] 「日中共同研究 中国西南部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発報告書平成 12 年度 (第 4 報)」, 2000, pp. 19–23, pp. 108–116, pp. 184–192, pp. 286–292.

付表1 弄石屯の耕種作物の消費に関する EF

分類 項目		I 総生産量 (kg)	II 販売量 (kg)	III 購入量 (kg)	IV 自家消費量 (kg)	列番号	V 総作付面積 (a)	VI 販売品作付面積 (a)	VII 購入品作付面積 (a)	VIII 自給品(食用) 作付面積 (a)	IX 実際に使用 した面積 V=Ⅴ+Ⅶ+Ⅷ
A-1: 耕種作物											
穀物類	トウモロコシ	1,175.63	0.00	496.25	1,166.25	(1)	27.38	0.00	9.70	27.16	37.08
	大豆	39.75	3.38	0.00	30.38	(2)	6.25	0.53	0.00	4.78	5.72
	米	0.00	0.00	100.13	0.00	(3)	0.00	0.00	1.61	0.00	1.61
	野菜類	339.38	0.00	0.00	294.38	(4)	12.88	0.00	0.00	11.17	12.88
	レンコン	408.75	0.00	0.00	360.00	(5)	5.54	0.00	0.00	4.88	5.54
	パナナ	57.00	1.13	0.00	55.50	(6)	1.98	0.04	0.00	1.93	1.94
	かぼちゃ	6.90	0.00	0.00	6.90	(7)	0.58	0.00	0.00	0.58	0.58
植込類	大麻	22.35	0.00	0.00	18.98	(8)	14.00	0.00	0.00	11.89	14.00
						EF 合計	68.61	0.57	11.31	62.38	79.35
A-2: 化学肥料・有機肥料 (トウモロコシ)		総生産量、販売量、購入量に投入された肥料の量									
化学肥料	尿素	***	***	35.63	***	(9)	***	***	1.63	***	1.63
	炭素	***	***	469.69	***	(10)	***	***	---	***	---
	リン肥料	***	***	4.13	***	(11)	***	***	---	***	---
	カリ肥料	***	***	0.00	***	(12)	***	***	0.00	***	0.00
	複合肥料	***	***	9.38	***	(13)	***	***	0.01	***	0.00
有機肥料	堆肥	2,452.50	0.00	0.00	2,452.50	(14)	5.48	0.00	0.00	5.48	5.48
	液肥	444.38	0.00	0.00	444.38	(15)	1.62	0.00	0.00	1.62	1.62
	草木灰	1,008.75	0.00	0.00	1,008.75	(16)	0.70	0.00	0.00	0.70	0.70
(大豆)						(17)					
有機肥料	草木灰	264.38	22.45	0.00	241.93	(18)	0.18	0.02	0.00	0.17	0.17
						EF 合計	7.98	0.02	1.64	7.97	9.61
						世帯当りの 耕種作物の EF 合計	76.59	0.59	12.95	70.35	88.96

註1) 表中の「***」は概念的・実質的に存在しないセルを、「---」は推計できないため数値を計上しないセルをそれぞれ表す。

註2) 基礎となるデータは黒河 [19] 報告のデータがほとんどである。

註3) 表中の「」は耕種作物が実際に作付けされた面積を、「」は食物生産のために投入された資本量を、「」は投入された資本を作るための面積を分類している。

註4) 化学肥料と有機肥料の投入量を面積換算する方法は、付表2を参照。

註5) トウモロコシと米の購入品作付面積の計測には、中国の2000年のトウモロコシの反収459.9kg/10aを、米の反収622.5kg/10aをFAOデータより求めて計測した。なお中国からの移入と仮定したのは、弄石屯で購入されている食料のほとんどにたいして、中国は外国へ輸出を行っているためである。以降、購入品作付面積を求める際は、中国の反収を用いる。

註6) 化学肥料はトウモロコシにのみ施肥されていた。有機肥料は大部分がトウモロコシに施肥されていたが、一部大豆にも施肥されていた。

註7) 畜産の結合生産として考えられる堆肥、液肥などの有機肥料をEFに計上した理由は、本来自然生態系の栄養分となる有機肥料を利用して、弄石屯の住人が人間活動を行っているためである。また有機肥料を使用しなければ、今まで以上に化学肥料を多投することが想定されるので本分析では計上した。

註8) ここでの自家消費量は、人間が消費する量と家畜が消費する量の合計である。

註9) 計測結果は全て1世帯当りの数値である。なお、一人当りの数値を求める際は、本分析で使用したデータの1世帯当りの平均人数4.81人で除すことによって求めることができる。

付表2 化学肥料単位あたりのエネルギー集約度

			窒素 (N)	リン (P)	カリ (K)
	(MJ/kg)		73.84	12.58	10.04
具体例		(%)	13	0	46
硝酸カリウム	14.2176	(MJ/kg)	9.5992	0	4.6184
尿素	36.6	(MJ/kg)			
炭安	---	(MJ/kg)	---	---	---
リン肥料	---	(MJ/kg)	---	---	---
カリ肥料		(MJ/kg)	0	0	0
複合肥料	1.049738	(MJ/kg)	0.930384	0.054094	0.06526
堆肥	1.787866	(MJ/kg)	1.454648	0.059126	0.274092
液肥	2.918794	(MJ/kg)	2.54748	0.140896	0.230418
草木灰	0.553506	(MJ/kg)	0	0.021386	0.53212

出典：Wada [7] をもとに作成。

註1) 表中の「---」は推計できないため数値を計上しないセルを表す。

註2) 尿素の計測結果は Wada [7] で採用した値をそのまま計上した。

註3) 複合肥料、液肥、堆肥の N-P-K の構成比率は信濃ら [20] の報告結果を用い、その計測結果の平均値を採用した。

註4) 草木灰の N-P-K の構成比率は、農林水産省生産局「ポケット肥料要覧ー2001ー」, 2001. データを抽出した。

註5) N-P-K の構成比率を利用し、化学肥料の生産のために使用されたエネルギー量を求め、地球の地表面が太陽から受けるエネルギー量である80GJ/ha で除し土地面積を推計した。年間の ha 当りの太陽エネルギー量で除す理由は、全ての自然資本は太陽エネルギーを基に、自然生態系の循環によって構築されたものである。例えば、木材を燃やしたエネルギーで化学肥料を生産する場合、木材の持つエネルギー源は、太陽エネルギーを受けた自然資本が自然界の食物連鎖を経て生産された木材だからである。

付表3 弄石屯の家畜消費に関する EF

分類	項目	I 総生産量 (kg)	II 販売量 (kg)	III 購入量 (kg)	IV 自家消費量 (kg)		V 総作付面積 (a)	VI 販売品作付面積 (a)	VII 購入品作付面積 (a)	VIII 自家消費作付面積 (a)	IX 実際に使用 した面積 V=VI+VII+VIII
A-3: 家畜生産											
食肉、酪農	豚	168.94	93.75	9.38	70.05	(1)					
	子豚										
	肥豚										
	兎	0.45	0.00	0.15	0.45	(2)					
	山羊	1.50	11.25	0.00	0.00	(3)					
	鶏	0.00	0.30	0.00	0.53	(4)					
	鶏	10.58	4.91	0.11	5.51	(5)					
	鶏卵	2.63	0.26	0.00	2.44	(6)					
	アヒル	1.13	0.00	0.00	1.13	(7)					
	(役牛)	18.00	18.00	0.00	0.00	(8)					
A-4: 飼料生産											
飼料作物		各生産量に投入した量									
弄石屯内	トウモロコシ	792.56	436.93	0.00	355.93	(9)	18.46	10.17	***	7.82	---
	サツマイモ	273.75	151.91	0.00	113.51	(10)	10.39	5.76	***	5.11	---
	野菜(野草、ツル等)	2,692.50	1,494.17	0.00	1,116.45	(11)	---	---	***	---	---
	野菜(放牧)	---	---	---	---	(12)	---	---	---	---	---
	酒かす	---	---	---	---	(13)	---	---	---	---	---
	レンコン	---	---	---	---	(14)	---	---	---	---	---
飼料穀物											
弄石屯外	トウモロコシ	***	***	58.24	***	(15)	***	***	1.27	***	1.27
EF 合計							28.84	15.94	1.27	12.93	---
世帯あたりの家畜生産の EF 合計							28.84	15.94	1.27	12.93	---

註1) 表中の「***」は概念的・実質的に存在しないセルを、「---」は推計できないため数値を計上しないセルをそれぞれ表す。

註2) 家畜生産に必要とされる放牧場所が、山林やトウモロコシ収穫後の畑など複雑であったため、今回は計上できなかった。該当するセルは「黒塗りセル」にしてある。

註3) 表中の「----->」は家畜生産のために投入された飼料を、「----->」は投入された飼料を作るための面積を分類している。

註4) 家畜生産の購入量に費やされた飼料量は求めることが不可能であるため、Wada [8] で使用された計測方法を採用した。Wada [8] によれば、Lappé は家畜に与える飼料の重さと畜産品の増加量には関係があるとし、牛:豚:家禽類:酪農品:卵=16:6:3:1:3という比率を求めている。そこから豚、鶏、兎に与えられた飼料の量を推計した。また、ここでは与えられた飼料をトウモロコシと仮定して、耕種作物生産同様、中国の反収を用いて購入品作付面積を推定した。

註5) 基礎となるデータは黒河 [19] 報告のデータがほとんどである。

付表4 弄石屯のその他の食料に関する EF

分類	項目	I 総生産量 (kg)	II 販売量 (kg)	III 購入量 (kg)	IV 自家消費量 (kg)		V 総作付面積 (a)	VI 販売品作付面積 (a)	VII 購入品作付面積 (a)	VIII 自家消費作付面積 (a)	IX 実際に使用 した面積 V=VI+VII+VIII
A-5: その他の消費財											
	食塩	0.00	0.00	22.35	0.00	(1)	---	---	---	---	---
	酒	---	207.38	28.13	98.25	(2)	---	---	---	---	---
	豚油	---	0.00	17.10	0.75	(3)	---	---	---	---	---
EF 合計							---	---	---	---	---
世帯あたりのその他の食料の EF 合計							---	---	---	---	---

註1) 表中の「***」は概念的・実質的に存在しないセルを、「---」は推計できないため数値を計上しないセルをそれぞれ表す。

付表5 弄石屯の森林消費・二酸化炭素吸収に関するEF

分類	項目	I 総生産量 (kg)	II 販売量 (kg)	III 購入量 (kg)	IV 自家消費量 (kg)		V 総作付面積 (a)	VI 販売品作付面積 (a)	VII 購入品作付面積 (a)	VIII 自家用作付面積 (a)	IX 実際に使用 した面積 V=VI+VII+VIII
B-1: 森林(一般財)											
	木材	---	---	---	---	(1)	---	---	---	---	---
						EF 合計	---	---	---	---	---
B-2: 森林(二酸化炭素吸収)											
第一次生産											
	薪割	6,816.38	---	15.00	6,816.38	(2)	170.41	---	0.38	170.41	170.78
	薪割	926.25	---	---	926.25	(3)	23.16	---	---	23.16	23.16
	木材	***	---	---	---	(4)	***	---	---	---	---
第二次生産											
	灯油	---	---	6.98	---	(5)	---	---	0.27	---	0.27
	ガス	---	---	---	---	(6)	---	---	---	---	---
	メタンガス	---	---	---	---	(7)	---	---	---	---	---
						EF 合計	193.57	0.00	0.64	193.57	194.21
						世帯当りの 森林の EF 合計	193.57	0.00	0.64	193.57	194.21

- 註1) 表中の「***」は概念的・実質的に存在しないセルを、「---」は推計できないため数値を計上しないセルをそれぞれ表す。
- 註2) 森林関係に関するデータをまだ入手していないため、今回はあくまでも、人間活動が自然生態系に与えた負荷を求めたに過ぎず、バイオマスなどは考慮していない。
- 註3) 森林面積の算定にあたっては Wada [8] を参照にした。Wada [8] は、世界の森林の年間平均二酸化炭素固定能力1.8 t/ha を使用し、森林地面積を求めている。
- 註4) 二酸化炭素の排出係数は、北海道環境生活部「北からの発信」減らすCO₂「北海道地球温暖化計画」、2000よりデータを抽出した。
- 註5) 灯油、薪材の燃焼により排出される二酸化炭素量の推定は、薪材=茎葉=木屑と仮定して計測した。この計測方法は、若干の仮定と、日本での木材燃焼による二酸化炭素排出係数を使用しているため、多少の誤差が含まれていることが考えられる。

付表6 弄石屯の生産能力阻害地のEF

分類	項目	I 総生産量 (kg)	II 販売量 (kg)	III 購入量 (kg)	IV 自家消費量 (kg)		V 総作付面積 (a)	VI 販売品作付面積 (a)	VII 購入品作付面積 (a)	VIII 自家用作付面積 (a)	IX 実際に使用 した面積 V=VI+VII+VIII
C-1: 生産能力阻害地											
	建物	***	***	***	***	(1)	0.99	0.00	0.00	0.99	0.99
	畜舎	***	***	***	***	(2)	---	---	---	---	---
						EF 合計	0.99	0.00	0.00	0.99	0.99
						世帯当りの 生産能力阻害 地の EF 合計	0.99	0.00	0.00	0.99	0.99

- 註1) 表中の「***」は概念的・実質的に存在しないセルを、「---」は推計できないため数値を計上しないセルをそれぞれ表す。