

エコロジカル・フットプリントを用いた 環境バランス改善ツールの開発と適用 — 集落スケールでの検討 —

陳 鶴¹・伊勢 晋太郎²・谷口 守³

¹非会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 (〒305-8573茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:s1220531@sk.tsukuba.ac.jp

²非会員 東日本旅客鉄道(株) 長野支社総務部人事課 (〒380-0921長野県長野市大字栗田源田窪992-6)
E-mail: ise-s@jreast.co.jp

³正会員 筑波大学システム情報系教授 (〒305-8573茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:mamoru@sk.tsukuba.ac.jp.

日本における伝統的な住民生活の多くは、居住地である集落を単位として営まれてきた。しかし、高度成長期以降の都市化に伴い、緑地開発や田畑の荒廃、自動車依存化が進行し、結果的に集落スケールでも環境バランスの悪化が進んでいると考えられる。本研究では、茨城県のつくば市を対象として、人間活動による環境への影響を定量化するツールであるエコロジカル・フットプリント指標を援用し、集落における環境容量に対して、どの程度のオーバーシュート（環境負荷の超過量）が発生しているのかを明らかにした。この結果、1)集落の開発程度によって環境受容量、および負荷量は大きく異なる事、2)環境バランスを既に達成しているのは一部の山林地帯に過ぎない事、などを明らかにした。

Key Words : *Ecological Footprint, environment balance, colony, sustainable*

1. はじめに

日本における旧来の住民の生活や活動の多くは、地縁的に形成され一定の居住の集積を意味する集落を基礎単位として、集落内での相互扶助、または周辺の集落とのまとまりの中から営まれてきた¹⁾。近代化以前はこのような集落をベースに地域ごとで循環型社会が成立し、現在よりも地域ごとの環境バランスがとれていたと類推することができる。しかし、高度成長期以降の都市化に伴い、このような地域ごとに環境バランスのとれた暮らしは損なわれ、たとえば一見して集落の外観や環境資源が多く残っている都市圏縁辺部においても、緑地開発や田畑の荒廃、自動車依存化といった環境バランス悪化が進んでいると考えられる。持続可能な社会への回帰をめざすにあたっては、都市部よりもまずこのような都市圏縁辺部の集落において、そのバランス改善を目指していくことが現実的な最初の方策と考えられる。そのためには、まず、集落においてどのような環境資源が存在し、どれだけの環境負荷を受容できるようになっているか、また

各集落から発生する環境負荷が実際にどの程度存在するかを定量的に比較する必要がある。換言すれば、集落における環境地産地消費を定量的に把握することが必要となる。

一方で、人間活動が環境への影響を定量化するツールとして、エコロジカル・フットプリント指標（以下、EF指標と略記する）がある。この指標は、人間活動が及ぼす様々な環境負荷をFootprint（土地の消費面積）という同一基準によって総合的に評価することができる。また、対象とする都市・地域の環境容量に対して、どの程度のオーバーシュート（環境負荷の超過量）が発生しているのかについても評価できる点などに特長がある。

そこで本研究では、環境バランス達成のための最初のターゲットとして都市圏縁辺部の集落を対象とし、バランスの「見える化」のツールとして、耕作やCO₂排出にまで至る暮らしの環境負荷を総合的にかつ簡便に計測できるエコロジカル・フットプリント指標を改良して適用することとした。同時に損なわれつつある都市縁辺部の緑と耕作地の持つ環境受容効果をバイオキャパシティ指

標として定量化する。これら両指標を組み合わせて対象にした環境バランスの達成状況を明らかにする。

2. 既存研究のレビュー

EF指標はW.Wackernagelたちによって、1990年代初めにカナダで開発された指標である²⁾。この指標の開発以降の地球温暖化などの環境問題に対する関心の高まりを背景として、世界各地でEF指標の作成や利用は急速な普及を見せている³⁾。国レベルでのEF指標の算出事例としては、WWF（World Wide Fund for Nature：世界自然保護基金）によって世界の約150カ国のEF指標値を算出した例⁴⁾が挙げられる。また、都市・地域レベルでの算出事例は英国において顕著であり、例えばロンドン⁵⁾やヨーク⁶⁾などで算出されている。さらに、日本においてもEF指標値の算出⁷⁾や、国土を構成する地域レベルでの算出⁹⁾¹⁰⁾が数多く実施されている。また、近年着目されている環境負荷のキャップ&トレード制度に着目して、EF指標を用いた地域間キャップ&トレード制度の提案¹¹⁾や、自治体での環境バランス改善に向けた環境バランスエリア概念の提案¹²⁾もある。しかし、それらのEFの算出については、国・自治体レベルでの研究が多いが、地域内における集落のようなミクロスレールのEF指標値を算出した事例が見られない。以上のような既存研究に対して、本研究は以下のような特長を有する。

- 1) 居住者構成（年齢層や世帯人数）や住宅の種類および、日常の交通手段等に注目して、どのような都市活動が行われている集落において、どの程度の環境負荷（EF）を発生させているのか、いわゆる環境バランスの達成状況を明らかにする。
- 2) 集落間の消費品目内容等と受容能力をより細かく比較検討することによって、環境的な視点から評価するための簡便でかつ有効なツールを提案するとともに、集落特性を考慮した環境改善方法を策定する際に有用な情報を提供することができる。
- 3) これら算出においては、全国レベルで整備されて



図-1 つくば市における集落のイメージ図

いる統計データを利用することで、全国各地で同様の手法によりEF値を算出することが可能な汎用性の高いEF値の算出方法を提案する。

3. 分析対象都市と本研究におけるEF指標値の算出方法

(1) 分析対象都市

本研究では空間的に独立した集落分布が伝統的に見られる北関東地域の中で、都市開発の影響を間接的に受けた典型的な地域である茨城県つくば市の筑波地区における集落全てを対象として取り上げる。また、本研究では分析を行うに当たり「地図で見えるつくば市の変遷」¹³⁾を用いて対象集落を設定した。対象集落は当該地図の凡例において「樹木に囲まれた居住地」と定義され、(1)地名が地図上に載っており、(2)1971年時点で居住の集積がみられる地域を集落として分析を行った。つくば市における集落のイメージ図は図1で示す。また、研究学園など計画的な都市整備を通じ、集落としての形態が既に消失した地域(研究学園地区)は対象外とする。研究学園地区とつくば市における各地区の位置関係を図2に示す。

(2) 環境負荷量の算出方法

本研究ではEF指標を用いて集落に発生する環境負荷が実際にどの程度存在するかを定量化する。EF指標の構成要素としては、氏原・谷口モデル¹¹⁾の算出方法を参考する。EFの五つの構成要素と基本式は表1で示す。

分類①～③は氏原・谷口モデルを用いて、年齢階層別

表-1 ミクロレベルでのEFの各構成要素

EF指標の各構成要素	算出式	変数説明
① 耕作地フットプリント	$F_j^k = \sum_{n=1}^{10} p_n^k \cdot f_{nj}$	F_j^k : 地区kにおける品目jの総消費量(t) p_n^k : 地区kにおける年齢階層nの人口(人) f_{nj} : 年齢階層nにおける品目jの一人あたり消費量(t/人)
② 牧草地フットプリント	$EF_{fg}^k = \sum_{j=1}^{10} \frac{F_j^k}{\alpha_j}$	α_j : 品目jの土地生産性(t/ha)
③ 森林地(紙)フットプリント	$EF_p^k = \frac{p_n^k}{p} \cdot q \cdot \sum_{m=1}^3 \frac{w_m}{\beta_m}$	w_m : 輸入先別mバブル・チップ需要量(日本)(m ³) β_m : 輸入先別m森林蓄積成長量(m ³ /ha) p : 日本の人口(人) q : 家計消費割合(%)
④ 都市フットプリント	$EF_b^k = \sum_{i=1}^3 b_i^k$	b_i^k : 地区kの土地利用iの土地面積(ha)
⑤ エネルギーフットプリント	民生家庭部門 $EF_h^k = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^4 \frac{P_i^k C_i^k + P_j^k C_j^k}{\gamma}$ 民生交通部門 $EF_t^k = \frac{C^k}{P_j^k C^k k_c(t/T) / \gamma}$	C_i^k: 集落kの住宅の建て方(戸建・集合)の二酸化炭素排出量(t) C_j^k: 集落kの世帯人員jの二酸化炭素排出量(t) P_i^k: 集落における住宅建て方(戸建・集合)i別人数(人) P_j^k: 集落における世帯人員jの世帯数(世帯数) γ: 二酸化炭素吸収効率(t-CO₂/ha) C^k: 地区kにおけるガソリン消費量(cc/人) k_c: 二酸化炭素係数 t: ゾーン別の平均自動車利用時間 T: つくば市平均自動車利用時間

人口数などのデータを用いて算出する。分類④～⑤は独自に改良したパラメータを開発する。分類④については、都市的な活動のために利用される土地として、H22つくば市都市計画基礎調査データの都市的土地利用面積¹⁴⁾を採用した。さらに、EF 指標値の中でも構成割合の最も高い分類⑤については、民生家庭部門、民生交通部門に分類して詳細に検討している。民生家庭部門については、環境省・経済産業省が「京都議定書の削減約束達成に向けた「国民行動の目安」」¹⁵⁾の中で発表した関東地方の世帯あたりのエネルギー消費量(住宅の種類、世帯人員別)の数値、また、H23国勢調査・小地域調査の住宅別人口と世帯別人口¹⁶⁾を用いて算出している。民生交通部門については、H22家計調査により世帯人員別1世帯当たりの年間ガソリン購入量¹⁷⁾とH21東京都市圏パーソナリティ調査¹⁸⁾によりつくば市のゾーン別の平均自動車利用時間を用いて算出している。

このような構成に基づく分析を通じ、集落における住民の暮らしから直接発生した環境負荷の実態と環境バランスの現状を把握することが可能となる。なお、本研究では住民の日常的な生活が環境に与える影響を定量化することを目的とする。そのため、地域内の工場等、他地域への生産物を提供する施設から生じる環境負荷は考慮していない。同様の理由でEF 指標値の算出の際には産業関連表を意図的に活用していない。

(3)環境受容量の算出方法

本分析における環境受容量(Biocracy : BC)とは、EF 指標値の各構成要素を受け入れるための土地利用面積(例えば、対象地域内の食料消費に伴って必要となる農用地を、その対象地域内でどれだけ準備できているか等)のことを指す。つまり、表-1の各構成要素に対応する形で、それぞれの地区内に存在する環境受容量を定量

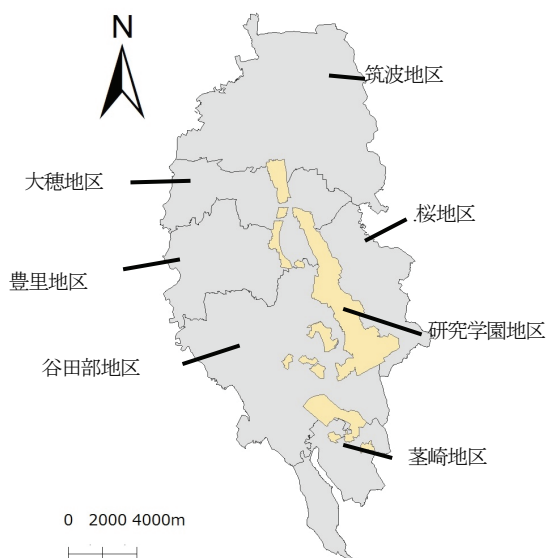


図2：つくば市の構成

的に示すこととする。この部分に用いるデータは、H22つくば市都市計画基礎調査における小ゾーンごとの各土地利用面積¹²⁾を採用した。また、EFの構成要素④(都市面積)に対しても、都市活動を受容れる土地として環境受容量にも含めて算出した。

(4)環境負荷超過率の算出

本分析では環境負荷超過率を、「対象とする地の環境受容量に対して、その地区から発生する環境負荷量、どの程度超過(オーバーシュート)しているのか、それら環境受容量と環境負荷量とのバランスを示す定量的な指標」と定義した。つまり、その指標値が1.0以下の地区は、他地区における環境負荷を自地区内での土地利用において負担(吸収)しているとも言える。地区レベルでの環境負荷超過率 (r_k) の算出式を以下に示す。

$$r_k = \frac{EF_k}{BC_k} \quad (3)$$

EF_k : 地区kにおけるエコロジカル・フットプリント指標値(ha)

CC_k : 地区kにおける環境受容量(ha)

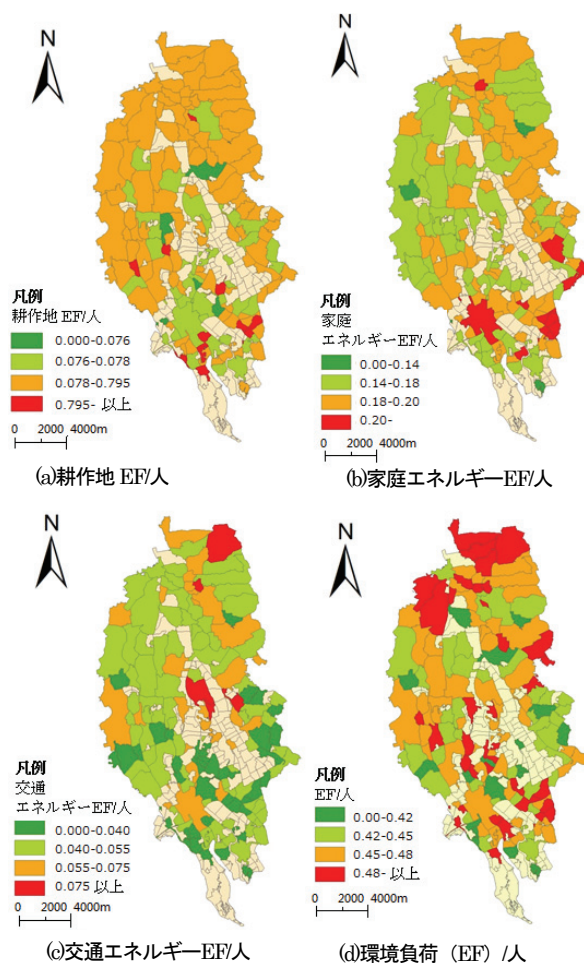


図3：集落における環境への一人あたり負荷量

4.算出結果

図3に集落ごとの一人当たり環境負荷量，図4に一人当たり環境受容量を示す．図5には式(3)より得られた環境負荷超過率を示す．なお，図2で提示した研究学園地区は本分析の対象外であり，いずれの図にも淡黄色で提示している．以上の結果から，つくば市における集落スケールでの環境バランスに関連して，明らかになった点を以下に示す．

- 1) 環境負荷に関する具体的な消費品目のフットプリントを図3の(a)~(c)に示す．耕作地フットプリントは大きな差が見られないが，一人当たり食糧消費が少ない子供の多い集落でやや値が低くなっている．また，家庭エネルギーフットプリントについては，戸建てで世帯当たり人員数の少ない南部の集落で相対的に高くなっている．一方，交通フットプリントについては鉄道などが無く都心までの移動距離が長い北部の集落で相対的に高くなって

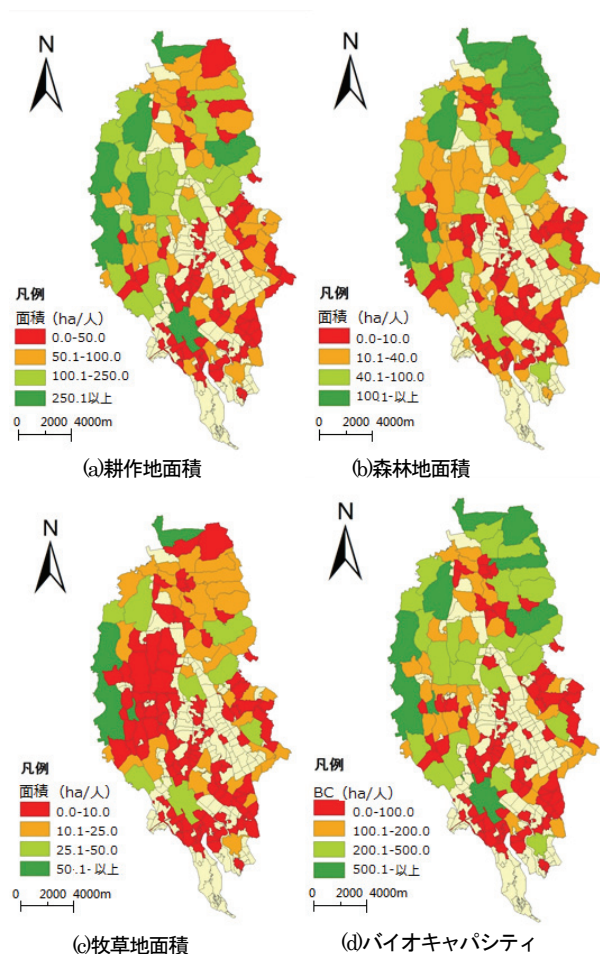


図4：集落における環境の一人当たり受容量

- いる．全体のEFを見ると，研究学園地区周辺と筑波地区の環境負荷が高いことが明らかとなった．
- 2) 図4の一人当たり環境受容量の算出結果により，研究学園地区周辺の環境受容量は相対的に小さい．この逆に西に位置している集落では広大な農地と平地林が存在し，北の筑波地区（筑波山周辺）は豊かな森林資源を保有している．また，牧草地に関しては，豊里と筑波北になどの地区で散見されるが，全体的に畜産のための土地が少ない．
- 3) 図5では，環境負荷超過率を用いて，集落の環境地産地消度を示している．また，氏原・谷口モデルによって，つくば市の平均環境超過率は4.29，茨城県の平均値は2.97である．谷田部・桜地区ではつくば市の平均値を超過している集落があることを明らかにした．それらの地域は都市活動が集積している研究学園地区に隣接しており，都市活動のしみ出しが存在するためと考えられる．また，筑波・荊崎地区では，茨城県の平均値を超過している集落が見られ，都市機能が郊外部へ拡散している状況がEF指標の観点から明らかにできたとと言える．
- 4) 筑波・豊里地区では環境超過率が1以下，すなわち，人間活動により発生した環境負荷が環境受容量を本分析で考慮した範囲で超過しておらず，環境負荷に見合うだけの環境受容量を有している集落も少なからず存在していることが明らかとなった．しかし，一人当たりのEFとBCの指標値に対する考察を通じ，環境超過率が1以下であるからといって，その集落の居住者のライフスタイルの環境負荷が

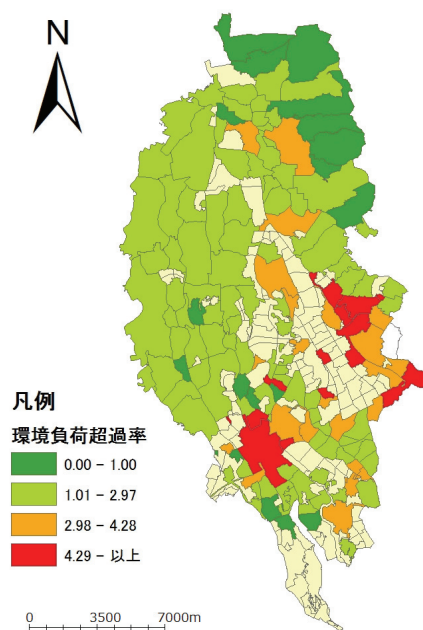


図5：つくば市における集落の環境超過率

必ずしも低いというわけではない事も明らかになった。単に人口が少ない事で集落での環境バランスが達成されているというケースも散見される。

5. 終わりに

本研究ではEFとBCの各指標を組み合わせることで、衣食住から通勤・通学などの交通面まで、人のライフスタイルに関する主要な側面における環境改善効果を明らかにできる汎用性ある使いやすい環境バランス改善評価ツールを構築した。さらに、このツールを用いることにより、実際につくば市における集落を対象とした環境バランス評価を実施することで、その適用可能性を検討した。今後は、地産地消という観点にたつと、集落ごとに消費品目内容等と受容能力の対応関係をより細かく見て評価を行うことも必要になってくると考えられる。また、この環境バランス改善評価ツールを活用し、環境改善や地産地消行動の促進を通じた環境バランスの改善状況を定量化することによって、今後の集落の生活のあり方や環境マネジメント手法などに対して有益な示唆が得られると考えている。

一方で、本研究のEFの計算において、データの制約上考慮できなかった項目（例えば、服などの消費財、消費財を運輸するための消費）のより地域性に配慮したEF指標値を算出するための方法論については、今後検討・改良する必要があると考えている。

謝辞：本研究の実施に際して、岡山大学大学院環境学研究科の氏原岳人助教とつくば市都市計画課に資料の提供や有益なご示唆を頂いた。なお、本研究の実施に際し、公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の助成を得た。記して謝意を申し上げる。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土計画局過疎集落研究会報告書：<http://www.mlit.go.jp/common/000039569.pdf> (最終閲覧 2013/7)
- 2) Wackernagel, M. and W. E. Rees : Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers (Canada), 1996.

- 3) 日本計画行政学会（編）「環境指標」学陽書房，昭和61年
- 4) WWF : LIVING PLANET REPORT 2012 : http://www.wwf.or.jp/activity/lib/lpr/wwf_lpr_2012.pdf , 2013.7 最終閲覧.
- 5) Best Foot Forward : City Limits A resource flow and ecological footprint analysis of Greater London, 2004.
- 6) Barrett.J.H.Vallack.A.Jones.and.G.haq : A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York, Stockholm Environment Institute, 2002.
- 7) 福田篤史, 森杉雅史, 井村秀文：日本のエコロジカルフットプリント-土地資源に着目した環境指標に関する研究-, 環境システム研究論文集, Vol.29 , pp.197-206, 2001.
- 8) 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.
- 9) 谷口守・阿部宏史・重兼薫(2004) エコロジカル・フットプリントに基づく都道府県別超過環境負荷の算出，地域学研究論文集, No.34-1, pp.23-36.
- 10) 余川雅彦・加賀屋誠一・内田賢悦(2008)：地域間産業連関表を用いたエコロジカル・フットプリント算出に関する研究，地域学研究 38(4), 939-952, 2008
- 11) 氏原岳人・谷口守・松中亮治：エコロジカル・フットプリント指標を用いた環境負荷の地域間キャップ&トレード制度の提案-“身の丈にあった国土利用”に向けた新たなフレームワークの構築-, 都市計画論文集, No.43-3, pp.877-882, 2008.
- 12) Chen,H., Ise,S., Taniguchi,M., et al. Sustainable Development and Planning VI (ISSN: 1746-448 X), WIT PRESS, 2013.
- 13) (財)日本地図センター:地図で見るつくば市の変遷, 1996.
- 14) つくば市都市計画課：岡山県南都市計画基礎調査, 2010.
- 15) 経済産業省 第1回地球温暖化対策に係る国民運動の運営会議の開催～京都議定書の削減約束達成に向けた「国民行動の目安」を発表～：<http://www.meti.go.jp/press/20050712005/050712ondanka.pdf>, 2013.7 最終閲覧.
- 16) 国勢調査小地域集計：<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001039448>, 2013.7 最終閲覧.
- 17) 総務省家計調査：<http://www.stat.go.jp/data/kakei/>, 2013.7 最終閲覧.
- 18) 東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏パーソントリップ調査, 2010